

PANORAAMAKUVAUKSEN TEKNIIKAT

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Mediatekniikan koulutusohjelma
Teknisen visualisoinnin suuntautumisvaihtoehto
Opinnäytetyö
5.5.2008
Jarmo Koivisto

**Lahden ammattikorkeakoulu
Mediatekniikan koulutusohjelma**

KOIVISTO, JARMO: Panoraamakuvauksen tekniikat

Teknisen visualisoinnin opinnäytetyö, 72 sivua, 10 liitesivua

Kevät 2008

TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö käsittelee digitaalista panoraamavalokuvausta, kuvien koostamista ja esittämiseen tarvittavia tekniikoita. Tärkeimpinä asioina ovat panoraaman lähdekuvien kuvaaminen sekä tuotanto, jossa itse panoraama koostetaan sekä valmistellaan esitettäväksi. Pääasiassa opinnäyte tähtää interaktiivisten pallopanoraamojen

Käsiteltävänä ovat niin laitteet kuin kuvausmenetelmätkin. Panoraamakuvauksessa tärkeätä on kiinnittää huomiota kuvausasetuksiin, sillä lopullisen panoraaman laatu riippuu täysin lähdekuvien laadusta. Kuvauksen aikana kiinnitetään huomiota mahdollisiin ongelmakohtiin, jotta kuvien koosto onnistuisi. Tässä kuvien lomittaminen toistensa päälle sekä panoraaman osakuvien välinen astekulma ovat oleellisia onnistuneessa panoraamassa.

Toisena kokonaisuutena on tuotanto, jossa käsitellään panoraaman koostamista ja erilaisia vaihtoehtoja lopulliselle panoraamalle. Työssä käsitellään panoraaman koostamisen ongelmat, kuten yli- ja alivalottumista ja liikkuvien kohteiden aiheuttamia ongelmia pohditaan miten ne voidaan korjata peruskuvankäsittelyn keinoin.

Opinnäytetyön empiirisessä osuudessa käsitellään esimerkkinä yhtä virtuaalikierroksen panoraamoista. Koko prosessi käydään läpi kuvausvaiheineen. Esimerkissä on mukana vielä yksi panoraaman koosto-ohjelma, jolla selvennetään miten teoria muutetaan käytäntöön.

Avainsanat: valokuvaus, panoraama, virtuaalikierros, Java, Flash, QuickTime VR

**Lahti University of Applied Sciences
Faculty of Technology**

KOIVISTO, JARMO: Techniques for panoramic photography

Bachelor's thesis in visualization engineering, 72 pages, 10 appendices

Spring 2008

ABSTRACT

This thesis deals with digital photography, image stitching and display techniques for panoramas. The most important issues are source image capturing for panoramas and production, where the source images are stitched together and prepared for viewing. The primary aim of the thesis is to show the workflow of interactive spherical panoramas.

The beginning of the thesis presents the image capturing techniques as well as the required equipment. In panorama photography the shooting settings are taken into consideration, since the quality of the final panorama strongly depends on the quality of the source images. This process also involves essential issues such as image overlap and accurately spaced image sequences.

The second part of the thesis concerns production, where the stitching and output options of the final panorama are viewed. Stitching problems caused by moving objects and correcting over-, and underexposed images are explained.

The empirical section of the thesis deals with one of the panoramas of a virtual tour. The whole workflow of creating interactive panoramas is examined. Also, one particular stitching software is used to clarify the production process.

Keywords: photography, panorama, virtual tour, Java, Flash, QuickTime VR

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 PANORAAMAKUVAUS.....	2
2.1 Yleistä	2
2.2 Panoraamatyypit	3
3 KUVAUSTEKNIIKAT	5
3.1 Lähdemateriaalin hankkiminen ja tuotanto	5
3.2 Monikuvatekniikka	5
3.3 Yhden kuvan tekniikka	6
3.4. Kuvauslaitteisto	7
3.4.1 Jalusta, vesivaaka ja panoraamapää	7
3.4.2 Objektiivit	8
3.4.3 Parabolinen peilioptiikka	9
3.5 Kuvausasetukset.....	10
3.5.1 Valkotasapaino.....	11
3.5.2 Valotus	11
3.5.3 Tarkennus ja terävyysalue	13
2.6 Kameran pyörimispiste.....	14
2.6.1 Perspektiivikeskipiste ja parallaksivirhe	14
2.6.2 Perspektiivikeskipisteen löytäminen.....	17
3.7 Kuvien lomittaminen	18
2.8 Tarvittava kuvien määrä	19
3.9 Kuvaustapoja	21
3.10 Liikkuvat kohteet.....	23
4 TUOTANTO	24
4.1 Koosto-ohjelmat	24
4.1.1 Objektiivin erityispiirteet	25
4.1.2 Kontrollipisteet.....	26
4.1.3 Pakopiste	27
4.1.4 Kuvaprojektiot	28
4.2 Koostovirheiden korjaaminen	33
4.2.1 Yli- ja alivalotuksen korjaaminen	33
4.2.2 Liikkuvat kohteet	35
4.2.3 Haamukuvat.....	37
4.2.3 Haamukuvat.....	37
4.3 Katseluohjelmat.....	38
4.3.1 Esitystekniikat	38

4.3.2 Käyttäjän huomioiminen	39
4.3.3 Panoraaman lisääminen HTML-sivulle.....	40
4.4 Virtuaalikerrokset.....	43
5 MUITA SOVELLUKSIA.....	44
5.1 Stereopanoraama.....	44
5.2 HDR-panoraama	47
5.3 Videopanoraama	48
5.4 Makropanoraama	49
5.5 Objektielokuva.....	50
6 CASE: VIRTUAALIKIERROS	51
6.1 Lähdekuvien kuvaaminen.....	51
6.1.1 Pyörimispisteen asemointi	51
6.1.2 Kuvaaminen	52
6.2 Tuotanto	54
6.2.1 Koosto.....	54
6.2.2 Jalustan paikan peittäminen ja nimikirjoituksen lisääminen	58
7 YHTEENVETO	61
LÄHTEET	62
LIITTEET	66

Sanasto

Clone Stamp, Patch tool ja Healing brush: Kuvankäsittelyohjelmien korjaustyökaluja, jolla kuvan osia kopioidaan paikasta toiseen.

JPEG / JPG: Web-käyttöön soveltuva kuvatiedostoformaatti, jonka on kehittänyt Joint Photographics Expert Group. JPG-formaatti käyttää häviöllistä pakkausta, mikä tarkoittaa, että kuvasta poistetaan informaatiota tallennus vaiheessa.

Katseluohjelma: Jollakin katselutekniikalla toteutettu esitysohjelma, jolla voidaan esittää panoraamoja.

Katselutekniikka: Ohjelma tai liitännäissovellus.

Koosto-ohjelma: Tietokoneohjelma, jonka tarkoitus on liittää kuvia toisiinsa saumattomasti muodostaen panoraamakuvan. (Stitching software).

Kuvakulma: Kameran näkökenttä, jolla ilmaistaan maiseman tai alueen koko, joka mahtuu kuvaan mukaan. Kuvakulman suuruus ilmaistaan asteissa. (field of view / angle of view.)

Kuvaprojektio: Kuvaprojektiolla tarkoitetaan kolmiulotteisen muodon asettamista tasaiselle kaksiulotteiselle pinnalle.

Kuvasekvenssi: Panoraamaan kuvataan yksi tai useampi kuvasekvenssi eli kuvasarja. Kuvasekvenssi koostuu osakuvista.

Metadata: Tietoa tiedosta. Kuvailee ja määrittää tietoa jostakin asiasta.

Osakuva: Panoraaman kuvasekvenssi koostuu useasta osakuvista.

Pallopoikkeama: Vääristymä kuvassa, joka johtuu objektiivin laajakulmaisuudesta.

Taso: Käytetään kuvankäsittelyohjelmissa erottelemaan eri elementit toisistaan.

Tason maski: Käytetään kuvankäsittelyohjelmissa peittämään osa tasosta.

URL: Viittaa internetosoitteeseen tietyllä internetsivustolla (Uniform Resource Locator)

1 JOHDANTO

Panoraaman viehätys piilee sen kyvyssä esittää kuva, aivan kuin katsoja olisi itse paikalla. Ihmisen näkökenttä on parhaimmillaan 180 astetta horisontaalisesti ja 120 astetta vertikaalisesti (Metsämäki 2004, 52). Panoraamalla pystytään esittämään tilanteita, jotka tavallisissa valokuvissa olisivat katsojan näkökentän ulottumattomissa.

Panoraamoja on tehty jo 1700-luvulta lähtien. Tällöin ei kuitenkaan ole ollut olemassa kameroita. Panoraamat saivat alkunsa, kun Robert Barker kehitti tämän maalaustavan. Ensimmäisen varsinaiseen panoraamakuvaukseen tarkoitettun kameran kehitti Rochester Panoramic-Camera Company, jonka Cirkut-kamera sai patentin vuonna 1902. Cirkut-kameralla kuvattiin pyörittämällä kameraa pystyakselin ympäri, samalla kun filmi kameran sisällä pyöri vastakkaiseen suuntaan. Samaa periaatetta on käytetty myös myöhemmissäkin panoraamakameroissa. (Metsämäki 2004, 52.)

Panoraamakuvaus on kehittynyt eteenpäin, ja markkinoilta löytyy tähän tarkoitukseen useiden eri valmistajien kameroita. Panoraamakamerasta voi joutua maksamaan useita tuhansia euroja, mutta tämän hintaluokan kamerat ovatkin tarkoitettu pääsääntöisesti ammattilaisille. Tarjolla on myös taloudellisempia ratkaisuja siirtyäessä kinofilmikameroista digitaalisiin. Tavallisella digitaalikamerallakin pystyy kuvaamaan panoraamoja, eikä kuvaamiseen siis välttämättä tarvita kalliita laitteita.

Digitaalisuus on tuonut panoraamakuvaukseen ja panoraamojen katseluun monia uusia vaihtoehtoja. Vuoden 1995 jälkeen käsite panoraamasta on alkanut muuttaa merkitystään ihmisten mielissä, kun Apple kehitti QuickTime VR -nimisen sovelluksen panoraamojen katselemiseen. Tämä interaktiivinen vaihtoehto paperitulosteille antoi katsojalle mahdollisuuden todenmukaisempaan kuvan katsomiseen. Käyttäjä pystyi sovelluksen avulla hiirtä liikuttamalla kääntämään katselukulmaa ja katsomaan haluamaansa suuntaan. (Andrews 2003, 13) Panoraamojen esitystapa on kehittynyt eteenpäin tästä ajasta ja uusimpana tulokkaana ovat kokonaiset virtuaalikierrokset, jossa panoraamat ovat linkitetty toisiinsa muodostaen yhden suuremman kokonaisuuden.

2 PANORAAMAKUVAUS

2.1 Yleistä

Panoraamakuvan ja tavallisen still-kuvan suurin erottava tekijä on kuvasuhde. Panoraamakuvan kuvasuhde saattaa olla 15:1, kun se normaalilla still-kuvalla saattaa olla välillä 3:2 – 4:3. (Metsämäki 2004, 54.) Panoraaman ei kuitenkaan tarvitse olla leveä, ja se voi olla myös korkeussuunnassa hyvin suurikokoinen. Näin pystytään esittämään hyvin korkeita kohteita, jotka tavallisessa valokuvassa rajautuisivat kuvan ulkopuolelle. (Bamberg 2006, 58.)

Digitaalisia panoraamoja voidaan katsella sellaisenaan tietokoneen näyttöruudulla tai niitä voidaan katsella tarkoitukseen sopivalla katseluohjelmalla. Katseluohjelmassa oleva panoraama ei näy katsojalle kokonaisuudessaan. Panoraama on rajattuna ohjelmaikkunan sisään, jossa hiirtä liikuttamalla katselija voi kääntyä katsomaan toiseen suuntaan. Tarkoitus on esittää tila ikään kuin ihmissilmästä katsottuna.

Panoraama kuvataan ottamalla useampi rinnakkainen osakuva. Kuvattava alue voi olla täysi 360 asteen ympyrä tai ainoastaan haluttu alue. Digitaalikameralla kuvatuista osakuvista muodostetaan panoraama liittämällä kaksi tai useampi kuva yhteen tarkoitukseen sopivalla koosto-ohjelmalla. Vastaavasti kuvattaessa filmille, kuvat yhdistetään toisiinsa pimiössä. Filmille kuvatut kuvat voidaan muuntaa digitaalisiksi kuvanlukijalla, jolloin kuvat voidaan yhdistää samalla tavalla kuin digitaalikameralla otetut kuvat.

Panoraamaa voidaan hyödyntää tehokkaasti erilaisiin käyttötarkoituksiin. Kohteita voisivat olla vaikkapa hotellit, turistikohteet, nähtävyydet ja erilaiset julkiset asiakastilat. Yhdysvalloissa panoraamoja käytetään jopa rikospaikkatutkinnassa. Panoraamoja voidaan kuvata myös sisätiloissa. Osa kiinteistövälitysyrityksistä käyttää panoraamoja huoneistojen esittämiseen, jotta katsoja pystyy paremmin hahmottamaan tilan (Sadun 2003, 124).

Panoraaman etuna on juuri kuvan koko. Suuren ihmisjoukon rajaaminen yhteen tavalliseen kuvaan saattaa olla hankalaa. Liittämällä yhteen kaksi tai useampi rinnakkainen kuva, saadaan yhteen kuvaan mahtumaan koko ihmisjoukko, ilman että osa henkilöistä jää kuvan ulkopuolelle. Maisemakuvaksessakaan kuvan ulkopuolelle ei tarvitse jättää toisistaan etäällä olevia kuvauskohteita. Koko maisema mahtuu yhteen panoraamaan.

2.2 Panoraamatyypit

Panoraamatyyppejä voidaan katsoa olevan neljä: tasainen, sylinteri, pallo ja kuutio. Suurimpana erottavana tekijänä näille tyypeille on kuvaprojektio, jonka mukaan kuva on projisoitu suorakaiteen muotoiseksi kuvaksi. Kolmea näistä panoraamatyypeistä, sylinteri, pallo ja kuutio, katsellaan yleisesti katseluohjelman avulla, joka korjaa kuvaprojektioista aiheutuneet vääristymät. Tasainen panoraama taas ei vaadi erillistä sovellusta.

Tasainen panoraama

Tämä on tavallisin panoraamatyyppi. Panoraamaa voidaan katsella sellaisenaan näyttöpäätteeltä tai sen voi tulostaa paperille. Erilliset katseluohjelmat ovat tarpeettomia tämän tyyppisen panoraaman katsomiseen, koska sitä on tarkoitus katsella ilman perspektiivin korjausta (Rigg, Types of panoramic images). Kuvassa ei välttämättä ole vääristymiä, joita katseluohjelmalla pitäisi korjata. Panoraama näyttää siis samalta kuin se on todellisuudessaakin. Vastaavasti erikoisemmat kuvaprojektiot ovat tarkoitettu katseltavaksi sellaisenaan ilman katseluohjelmaa.



Kuva 1. Tasainen panoraama (Rigg, Types of panoramic images)

Sylinteripanoraama

Sylinteripanoraama tunnetaan myös toisella nimellä tynnyripanoraama. Tämän tyyppistä panoraamaa katsellaan aivan kuin katselija olisi itse sisällä sylinterissä, jonka reunoihin panoraama on kiedottu. Tämä on mahdollista katseluohjelman avulla. Näkökenttä sylinteripanoraamassa voi olla horisontaalisesti täysi 360 astetta. Sen sijaan vertikaalinen näkökenttä on rajoitteinen, jolloin katsoja ei voi katsoa ylös eikä alas. Sylinteripanoraama-



Kuva 2. Sylinteripanoraama (Rigg, Types of panoramic images)

ma on helpompi tehdä kuin pallopanoraama, minkä vuoksi se on ehkä käytetyin panoraamatyyppejä internetissä. (Jacobs 2004, 3.)

Pallopanoraama

Pallopanoraamaa katsellaan ikään kuin katsoja olisi palloksi käärityn kuvan sisällä. Katselija voi vapaasti kääntyä eri suuntiin paikassa, jossa panoraama on kuvattu. Pallopanoraamassa näkökenttä on horisontaalisen 360 asteen lisäksi 90 astetta ylös ja 90 astetta alas. Pallopanoraamassa pystytään siis näkemään jokaiseen suuntaan vapaasti, mistä käytetään nimitystä 360x180 panoraama. Joskus saattaa tässä yhteydessä kuulla puhuttavan 360x360 asteen panoraamasta, joka on kuitenkin virheellinen nimitys.



Kuva 3. Pallopanoraama (Rigg, Types of panoramic images)

Kuutiopanoraama

Kuutiopanoraama ja pallopanoraama ovat hyvin samankaltaisia, samoin kuvausmenetelmä on täysin samanlainen. Kuutiopanoraamassa katselukulmat ovat samat kuin pallopanoraamassa. Katseluohjelmassa katsoja voi siis kääntyä jokaiseen paikkaan. Katsoja ei välttämättä huomaa näiden kahden välissä mitään eroa. Eroavuuksia on kuitenkin käytetyssä katselutekniikassa sekä kuvaprojektiossa.



Kuva 4. Kuutiopanoraama (Rigg, Types of panoramic images)

3 KUVAUSTEKNIIKAT

3.1 Lähdemateriaalin hankkiminen ja tuotanto

Panoraaman luomisprosessi voidaan jakaa kahteen vaiheeseen: lähdemateriaalin hankkiminen ja tuotanto (sourcing and production).

Lähteiden hankkimisvaihe tarkoittaa valokuvien ottamista panoraamaan. Kuvat otetaan joko filmi- tai digitaalikameralla. Jotkut käyttävät kuvaamiseen yhden kuvan tekniikkaa (single-shot option), jolla pystytään kaappaamaan täysi 360 asteen näkymä yhteen kuvaan. Yleisempi tapa on kuvata panoraama monikuvatekniikalla (multi-shot option) ottamalla kuvasarja, jonka osakuvat liitetään saumattomasti toisiinsa. Käytetystä tekniikasta riippumatta lähdekuvien ottamisessa täytyy ottaa huomioon kaikki esteettiset ja tekniset seikat kuten sommittelu, kuvan tasapainoisuus, valotus ja tarkennus. Nämä kaikki yhdessä vaikuttavat suuresti lopullisen panoraaman laatuun.

Tuotantovaiheessa kuvat siirretään muistikortilta tietokoneelle tai ne digitoidaan filmiltä tietokoneelle. Kuvat järjestetään ja yhdistetään yhdeksi panoraamaksi koosto-ohjelmalla. Tämän jälkeen panoraama on valmis tulostettavaksi, esitettävissä sellaisenaan näyttöpäätteeltä tai esitysohjelman avulla. Käytetystä tekniikasta riippuen kuvia käsitellään eri tavoin. Lopputulos on kuitenkin sama. (Andrews 2003, 20).

3.2 Monikuvatekniikka

Monikuvatekniikalla muodostettava panoraama koostuu useasta eri osakuvasta, jotka yhdessä muodostavat kuvasekvenssin eli kuvasarjan. Kuvasekvenssi kuvataan yhdestä pisteestä panoroimalla kameraa. Käytettävän kameran objektiivin polttovälistä riippuen kuvat otetaan tietyin astevälein.

Kuvasekvenssin kuvarivi (single row) kuvataan panoroimalla kameraa kiintopisteen ympäri. Haluttu alue tai täysi 360 asteen näkymä tallennetaan ja myöhemmin yhdistetään panoraamaksi. Saatu lopputulos on lineaarinen panoraama, joka tunnetaan nimellä *vista panoraama*.

Kun kuvataan panoroimalla kameraa vasemmalta oikealle, kuvaamatta jäävät alueet kuvasekvenssin ylä- ja alapuolelta. Tämä johtuu siitä, että kameran objektiivin pysty-akselin suuntainen, vertikaalinen, näkökenttä on alle 180 astetta. Jotta nämä alueet saadaan kuvattua, täytyy kuvata useampi päällekkäinen kuvarivi kallistamalla kameraa. Useamman rivin (multi-row) kuvaamisella saadaan aikaan suurempi kuva-ala. Tätä tarvitaan pallopanoraaman, eli 360 X 180 asteen panoraaman, tekemiseen Useamman kuvarivin kaksiulotteista panoraamaa nimitetään joskus myös *quilt-panoraamaksi* (Sadun 2003, 112).



Kuva 5. Kameran panorointi ja kallistamien (Bodin, B., Frich, A., Lemoine, A., Noël, C., Popovic, S., Simard, P., Thion, L. & Vidal, G. 2005, 50)

3.3 Yhden kuvan tekniikka

Yhden kuvan tekniikka on vielä melko uusi asia panoraamakuvauksessa. Nimensä mukaan kokonaisen panoraaman kuvaamiseen tarvitaan ainoastaan yksi kuva. Tämän ansiosta se on helpoin tapa kuvata lähdekuvat. Täyden 360 asteen kuvan ottamiseen tarvitaan erillinen objektiivin eteen kiinnitettävä peilioptiikka, joka tallentaa kameran kennolle donitsin muotoisen panoraaman. Tämä kuva vaatii laitteen mukana tulevan ohjelman, joka muuntaa kuvan tavalliseksi panoraamaksi.

Yhden kuvan tekniikan etuja ovat kuvaamisen ja jälkikäsittelyn helppous sekä nopeus. Lisäksi yhden kuvan tekniikka on hyvä juurikin tilanteissa, joissa on paljon liikkuvia kohteita. Usean kuvan tekniikalla liikkuvat kohteet saattavat jäädä kokonaan kuvaamatta tai ne voivat jäädä kuvien saumakohtiin muodostaen epämääräisen kohteen. Tätä ongelmaa ei synny yhden kuvan tekniikalla. Haittapuolia on kuvan resoluutio. Yhden kuvan tekniikalla otetun panoraaman resoluutio rajoittuu kameran suurimpaan mahdolliseen resoluutioon. (Andrews 2003, 24.)

3.4. Kuvauslaitteisto

3.4.1 Jalusta, vesivaaka ja panoraamapää

Panoraamakuvauksessa tärkeintä on kuvata jokainen kuvasekvenssin osakuva tarkoin samasta pisteestä, jotta lopputuloksena saadaan suoralinjainen kuva. Jalustan keskipylväs täytyy asettaa täysin pystysuoraan vesivaa'an avulla. Jos kamera pyörähtää vinossa olevalla jalustalla 360 astetta, kokonaisuutena saadaan kuva, jossa horisontti on aaltoileva. Jälkikäsitteilyllä aaltoilevaa panoraamaa saattaa olla todella vaikea suoristaa.

Vesivaa'alla tasatulla jalustalla ei vielä saada kameraa asemoitua täysin oikein. Kameran pyörimispiste on asetettuna vain kohtaan, jossa kamera on kiinni jalustassa. Kameran pyörimispiste täytyy olla asemoituna kameran perspektiivikeskipisteeseen, jotta jokainen osakuva tulisi kuvattua tarkoin samasta pisteestä. Tähän tarkoitukseen käytetään jalustaan kiinnitettävää panoraamapäätä. Kuvaaminen onnistuu myös ilman sopivaa panoraamapäätäkin. Tällöin lopulliseen panoraamaan saattaa kuitenkin tulla haamukuvia, jotka johtuvat kameran liikkeestä osakuvien välillä. Kaksi tunnetuinta jalustan panoraamapäiden valmistajaa ovat Kaidan ja Manfrotto.

Panoraamapäällä on kaksi tehtävää. Sillä saadaan kamera asemoitua oikeaan pisteeseen ja sillä pystytään mittaamaan jokaisen sekvenssin osakuvan väliin tarkka asteväli. Panoraamapäässä on astemitta, jonka avulla jalustan pää pyöräytetään oikeaan kohtaan jokaista kuvaa varten. Joissakin jalustojen panoraamapäissä on niin sanottu 'click-stop'-järjestelmä, joka lukitsee jalustan pään oikeaan asentoon. Tällä saadaan sekvenssin kuvien väliin tarkoin mitattu välistys. Ilman 'click-stop'-järjestelmää kuvien välistyksen voi laskea jakamalla täysi 360 asteen pyörähdys tarvittavien kuvien lukumäärällä.

3.4.2 Objektiivit

Kalansilmäobjektiivi

Panoraamakuvauksessa käytetään yleensä laajakulma - (wide angle) ja kalansilmä (fish-eye) objektiiveja. Mitä pienempi polttoväli on, sitä vähemmän kuvia tarvitaan kokonaisen pallopanoraaman kuvaamiseen ja sitä vähemmän tarvitaan työaikaa panoraaman koostamiseen.

Kalansilmäobjektiivilla kuvatessa kuvia ei tarvita vähemmän kuin tavallisella laajakulmaobjektiivilla kuvatessa. Täydellisen 360 X 180 asteen panoraaman kuvaamiseen tarvitaan ainoastaan kaksi kuvaa. Kuitenkin jotta kuvat voitaisiin yhdistää toisiinsa saumattomasti, olisi kuitenkin parempi ottaa kolme tai neljä kuvaa (Andrews 2003, 44).

Kalansilmäobjektiivilla saadaan pallomainen kuva, joka on hyvin vääristynyt. Tätä kutsutaan pallopoikkeamaksi. Kaikki kuvien koostamiseen erikoistuneet ohjelmat eivät osaa käsitellä näitä. Pallopoikkeamassa linjat kaareutuvat kuvan keskeltä ulospäin. Tämä tulee esiin kuvattaessa valovoimaisella laajakulmaobjektiivilla (Metsämäki 2004, 55).

Vinjetti

Yksittäisten kuvasarjan otosten reunat saattavat olla tummentuneet. Tämä vinjetti (vignette) johtuu täysin käytetyn objektiivin ominaisuuksista. Objektiivin linssin reunoille osuu vähemmän valoa kuin linssin keskelle. Joillakin objektiiveilla vinjetti saattaa olla hyvinkin voimakas. Tämän voi korjata kuvankäsittelyohjelmilla. Kuitenkin osakuvat asetellaan osittain päällekkäin panoraamaa muodostaessa, joten reunojen tummuusvaikutus häviää. (Metsämäki 2004, 55.)

Suotimet

Suotimia ei tulisi käyttää panoraamaa kuvatessa. Erityisesti polarisaatiosuotimien käyttöä tulisi välttää. Suotimet lisäävät tummuutta entisestään osakuvien reunoille, ja ne saattavat jäädä näkyviin lopullisessa panoraamassa. Toinen syy on, että osakuvien lopputulos saattaa vaihdella riippuen siitä, missä kulmassa valonsäteet osuvat suotimen pintaan. (Aaland 2003, 182.)

Perspektiivinkorjausobjektiivi

Perspektiivinkorjausobjektiivia (PC lens) käytetään yleensä rakennusten julkisivujen kuvaamisessa eli fasadikuvauksessa, jotta suorat linjat kuvassa pysyvät suorina. Kun panoraama yhdistetään, koosto-ohjelma korjaa vääristymiä. Tällöin saavutetaan sama lopputulos kuin PC-linssiä käytettäessä. Tämän tyyppisten objektiivien käyttö saattaa vain hankaloittaa lopullisen panoraaman koostamista. (PTGui Support).

3.4.3 Parabolinen peilioptiikka

Parabolinen peilioptiikka (Parabolic reflective optic) tuottaa täyden 360 asteen panoraaman yhdellä kuvalla. Tämä kuuluu siis yhden kuvan tekniikkaan. Eräs parabolista peilioptiikkaa valmistava yritys on nimeltään Kaidan, jonka tuote on nimeltään 360OneVR. Tämä laite asetetaan kameras linssin eteen ja kamera itsessään on pystyasennossa. Muodostuva kuva on donitsin muotoinen panoraama, joka voidaan edelleen käsitellä laitteen mukana tulevalla tietokoneohjelmalla normaalisti panoraamaksi. BeHere.com tarjoaa saman kaltaista peilioptiikkaa panoraamojen kuvaamiseen. Erona Kaidaniin on, että lopputuloksena saatava panoraama on puolikkaan donitsin muotoinen, jolloin kuvia tarvitaan kaksi muodostamaan täysi 360 asteen kuva. Tätä ei välttämättä enää mielletä yhden kuvan tekniikaksi, vaikka käytettävät laitteistot ovatkin samankaltaisia. (Andrews 2003, 24).



Kuva 6. 360 One VR optiikalla otettu kuva (Andrews 2003, 34)



Kuva 7. 360 One VR peilioptiikka. (Andrews 2003, 24)

3.5 Kuvausasetukset

Kuvasekvenssin täytyy olla kauttaaltaan yhtenevä. Pienikin eroavaisuus yhdessä sekvenssin kuvassa saattaa tuottaa huonon lopputuloksen, jossa erilliset kuvat pysytään erottamaan toisistaan. Pahimmassa tapauksessa kuvia ei pystytä yhdistämään lainkaan, ja pääsääntönä panoraamaa kuvatessa on, että kaikki kuvausasetukset täytyy olla käsisäädöllä. Kuvausta helpottavat automaattitoiminnot voidaan siis unohtaa.

Koosto-ohjelma yhdistää osakuvat toisiinsa etsimällä vierekkäisistä kuvista vastaavan kaltaisia pikselisarjoja. Jos kuvausasetuksia on muutettu kuvien välillä, koosto-ohjelma ei välttämättä tunnista kahden kuvan yhteneväisyyksiä. Tämän takia kaikki kuvasarjan kuvat täytyy ottaa samoilla kuvausasetuksilla. Kompaktikameroilla tämä ei aina onnistu, koska tällöin kuvia voidaan joutua jälkikäsittelemään ennen varsinaisen panoraaman muodostusta.

3.5.1 Valkotasapaino

Automaattivalkotasapainon käyttäminen aiheuttaa poikkeamia kuvasekvenssin kuvien värisävyssä. Automaattiasetus aiheuttaa eroavaisuuksia sekvenssin kuviin varsinkin, jos kuvauskohteessa on useampi eri valonlähde. Valkotasapaino täytyy siis olla käsin asetettu joko kuvauspaikalla mitatuksi tai joksikin muuksi valmiiksi asetukseksi joita kamerasta löytyy. Tavallisissa pokkarikameroissa ei välttämättä ole eri vaihtoehtoja valkotasapainolle. Tällöin automaattinen valkotasapaino täytyy kytkeä pois päältä, jos se on mahdollista (Aaland 2003, 180).

Jos esimerkiksi kuvausalueesta kaksi kolmasosaa on auringonvalossa ja muu alue on varjoisaa, voisi valkotasapainon asettaa auringonvalon mukaan oikeaksi. Tällöin varjoaluetta kuvattaessa valkotasapaino ei ole paras mahdollinen. Jos molemmista sekä varjoalueesta että auringon valaisemasta alueesta halutaan optimaalinen valkotasapaino, voidaan kuvasekvenssi kuvata kahteen kertaan käyttäen kahden eri valkotasapainoa. Kuvien koostovaiheessa nämä eri valkotasapainoilla kuvatut sekvenssit yhdistetään, jolloin lopullisessa panoraamassa sekä varjo että valo ovat molemmat kuvattu optimaalisilla valkotasapainoilla. (Andrews 2003, 49.)



Kuva 8. Kuvasarja automaattivalkotasapainolla. (Andrews 2003, 49)

3.5.2 Valotus

Kameroissa on automaattinen valotuksen mittaus, joka mittaa kuvattavan kohteen valoisuuden ja säättää sensoriin tulevan valon määrää. Jos kameran mittaamaan kohteeseen osuu liian vähän valoa, valotusautomaatti pidentää valotusaikaa. Sitä vastoin mittauskohteen ollessa kirkas valotusaika lyhenee. (Metsämäki 2004, 55.)

Käytettäessä kameran automaattivalotusta panoraaman jokaisen osakuvan valotus mitataan kunkin kuvan kohdalla. Tällä tavoin saadaan jokaiseen yksittäiseen kuvaan oikea valotus, mutta nämä kuvat eivät sovi yhteen lopullisessa panoraamassa.

Kameran asetukset täytyy siis säätää käsin kohdilleen ennen kuvasarjan ottamista. Sopivan valotusajan löytämiseksi kuvauskohteessa valotusta voidaan tarkastella kameraa pyörittämällä ja mittaamalla tarvittavaa valotusta eri kohteista. Näistä mitatuista valotusajoista valitaan keskiarvoltaan hyvä asetus, jolloin yli- ja alivalottuminen saadaan minimoitua (Metsämäki 2004, 54).



Kuva 9. Kuvasarja automaattivalotuksella (Koivisto 2008)

Joissakin tapauksissa kuvauspaikalla saattaa olla suuria kontrastieroja jolloin staattiset valoisuus asetukset polttavat osan kuvista tai vastaavasti toisista tulee liian tummia. Vastaavasti koko kuvasekvenssiin saattaa tulla mukaan vain muutamia pieniä kohtia, jotka ovat selvästi ylivalottuneita. Näitä ongelmia voi korjata kuvankäsittelyohjelmalla. Kuvien valotusvirheiden korjaamisesta kerrotaan kappaleessa 4.2.1 Yli- ja alivalotuksen korjaaminen.

Toinen keino valotuksen korjaamiseksi on ottaa kuvauskohteesta kaksi kuvasekvenssiä eri valotuksilla: Tällöin ensimmäisessä sekvenssissä on normaali valotus ja toisessa on huolehdittu kirkkaiden alueiden onnistumisesta. Jos kuvassa on vain pieniä alueita ylivalottunut, voidaan vain näistä alueista ottaa erillinen kuva eri valotuksella kesken sekvenssin kuvaksen. Nämä kaksi sekvenssiä tai muutamat erilliset kuvat voidaan yhdistää kuvankäsittelyohjelmalla ennen lopullisen panoraaman muodostamista.



Kuva 10. Valotuksen korjaaminen eri valotusajoilla kuvatuilla kuvilla. (Andrews 2003, 48)

3.5.3 Tarkennus ja terävyysalue

Kameraa panoroitaessa kameran mittausalueelle osuu kohteita, jotka ovat vaihtelevilla etäisyyksillä kuvauspisteestä. Tarkennuksen ollessa automaattiasennossa kamera mittaa ja asettaa uuden tarkennuspisteen jokaisen kuvan kohdalla. Tällöin myös syvyysterävyys (depth of field) ja kuvakulma (field of view) muuttuvat (Andrews 2003, 50). Tällöin kuvia yhteen sovitettaessa osa kuvista tulee olemaan muita pienempiä, jolloin lopullisessa panoraamassa kuva-alaa joudutaan turhaan rajaamaan (Metsämäki 2004, 54). Terävyysalueen muuttuminen kuvien välillä ei tuota johdonmukaista lopputulosta, ja myös osakuvien yhdistäminen toisiinsa saattaa vaikeutua. Erityisesti ongelmia tulee vastaan, jos osa kuvattavista kohteista sijaitsee lähellä kuvauspistettä.

Automaattitarkennus on syytä kytkeä pois päältä. Polttoväli ja tarkennusalue valitaan sen mukaan, mitä halutaan kuvata. Sopiva tarkennuspiste valitaan ennen koko kuvasekvenssin kuvaamista. Tarkennuksen voi asettaa automaattisesti painamalla laukaisimen puoleen väliin ja kytkemällä käsisäädölle ennen sekvenssin kuvaamisen aloittamista.

Terävyysalueeseen vaikuttaa kolme asiaa: himmentimen aukko (aperture), polttoväli (focal length) sekä tarkennusetäisyys (Andrews 2003, 50-51). Polttovälin kasvattaminen antaa pienemmän terävyysalueen. Päinvastaisesti polttovälin pienentäminen antaa suuremman terävyysalueen. Lähellä oleviin kohteisiin tarkennusetäisyys on pienempi, joten myös terävyysalue on pienempi. Himmentimen aukon pienentäminen lisää syvyysterävyyttä, eli kuvasta tulee kauttaaltaan terävämpi. Jos siis koko panoraamasta halutaan hyvin terävä, himmenninaukkoa säädetään pienemmäksi. Tässä on haittapuolena pidempi valotusaika ja pehmeämpi kuva. Suurin osa digitaalikameroista aiheuttaa kuvan pehmenemistä eli diffraktiota käytettäessä suurta himmenninaukon arvoa. Tämä johtuu digitaalikameroiden pienistä sensoreiden koosta. Filmikameroilla ja suuremman kennokoon digitaalikameroilla saadaan tässä tapauksessa parempi lopputulos. (Rigg, Controlling depth of field.)

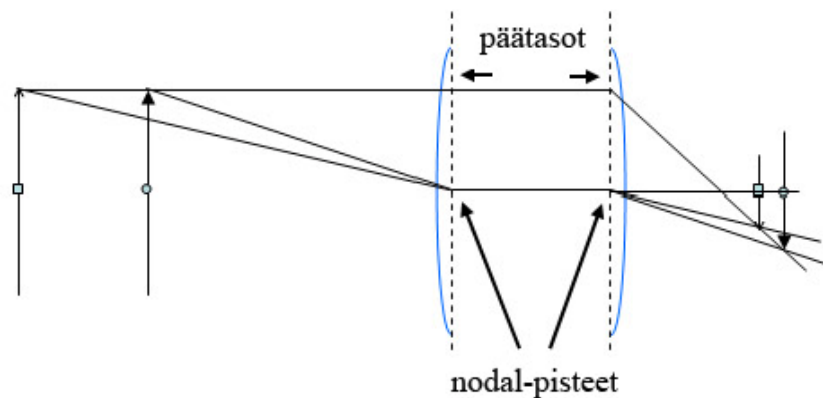
2.6 Kameran pyörimispiste

2.6.1 Perspektiivikeskipiste ja parallaksivirhe

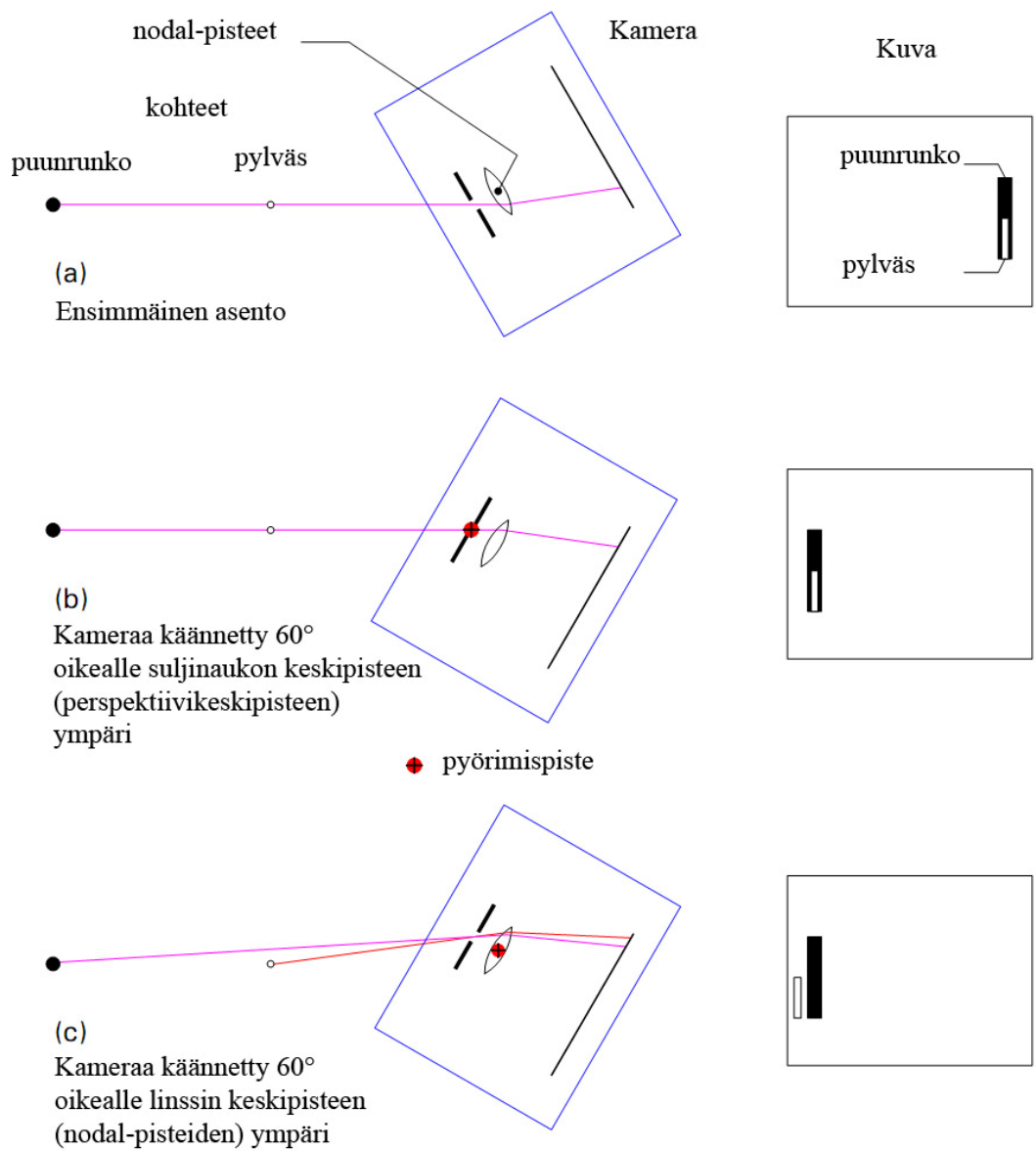
Panoraamaa kuvatessa kameran tulisi pyöriä perspektiivikeskipisteen (center of perspective) ympäri. Tilanteessa, jossa kameran pyörimispiste (pivot point) ei ole perspektiivikeskipisteessä, syntyy parallaksivirhe. Parallaksivirhettä voisi demonstroida asettamalla peukalon pystyyn käsivarren etäisyydelle ja katsomalla peukaloa vuorotellen toinen silmä suljettuna. Peukalo näyttää hyppäävän paikasta toiseen katselusilmää vaihdettaessa. Mitä lähemmäs silmää peukalon tuo sitä suuremman hyppäyksen peukalo tekee. (Sadun 2003, 125). Parallaksivirhe on siis katselukulmien erosta johtuva virhe, jossa kohteet liikkuvat suhteessa toisiinsa. Parallaksivirhe pienenee mitä kauempana kuvattavat kohteet ovat kamerasta. Jo kahden metrin päässä oleva kohde ei aiheuta kovinkaan suurta ongelmaa. Suurimmat parallaksivirheet löydetään verrattaessa vierekkäisissä kuvissa taustan objektien paikkaa etualan objektien paikkoihin. Pyörimispisteen paikka ei kuitenkaan tarvitse olla tarkasti asemoitu. Perspektiivikeskipisteestä hieman sivuun asemoitu pyörimispiste aiheuttaa vain mitättömän pienen parallaksivirheen muutamien metrin päässä oleviin kohteisiin (Douglas 2008, 7).

Perspektiivikeskipiste on piste, jossa valonsäteet ovat keskittyneet lähes äärettömän pieneen pisteeseen (Gregwired Digital 2008). Tämä piste sijaitsee kameran objektiivin himmenninaukon keskipisteessä. Perspektiivikeskipiste täytyy etsiä ja kamera asemoidaan siten, että kamera pyörii tämän pisteen ympäri. Tällöin jokainen kohde säilyttää oikean paikkansa jokaisessa kuvasarjan kuvassa. Perspektiivikeskipisteen paikka riippuu täysin käytetystä objektiivista. Objektiivit, joissa polttoväliä pystyy vaihtelemaan, myös perspektiivikeskipiste vaihtuu polttoväliä muuttaessa. Kameran voi asettaa perspektiivikeskipisteeseen varta vasten panoraamakuvaukseen suunnitellulla jalustan panoraamapöydällä. (Aaland 2003, 184.)

Panoraamakuvauksessa kameran pyörimispisteestä puhuttaessa käytetään yleisesti virheellistä englannin kielistä termiä: nodal point. Optiikassa tämä tarkoittaa kuitenkin aivan toista asiaa. Itse asiassa kameran objektiivissa on kaksi nodal-pistettä, jotka sijaitsevat linssin päätasojen (principal planes) keskikohtissa. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että kaikki ohjeet oikean pyörimispisteen löytämiseksi olisivat vääriä, vaan tässä tapauksessa ainoastaan käytetty termi on väärä. Oikea pyörimispiste löydetään etsimällä parallaksivirheetöntä asentoa kameralle, jolloin kuvaajan ei tarvitse välittää, missä kohdassa suljinaukko tai nodal-pisteet sijaitsevat. (Douglas 2008, 3).



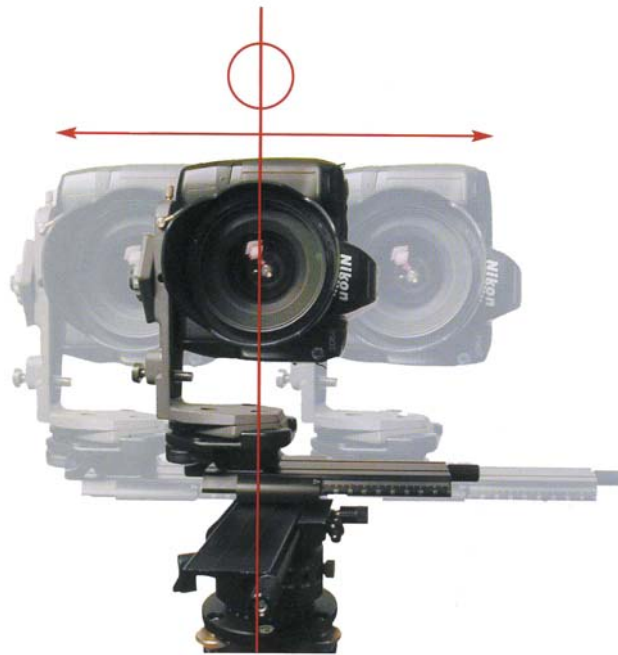
Kuva 11. Objektiivin linssin nodal-pisteet. (Littlefield, R. 2006, 8) Kuvaa on muokattu



Kuva 12. Kameran pyörimispisteet. (Douglas. A. 2008, 4) Kuvaa on muokattu

2.6.2 Perspektiivikeskipisteen löytäminen

Joissakin objektiiveissa perspektiivikeskipiste voi olla merkittynä, mutta useimmiten se pitää itse kokeilemalla löytää. Käytettävästä jalustan päästä riippuen kamera asemoidaan hieman eri tavalla. Kamera kiinnitetään panoraamapähän, joka on edelleen kiinnitetty jalustaan. Ensimmäisessä vaiheessa linssiä ja jalustaa katsottaessa edestä päin, kameraa liikutetaan vasemmalle tai oikealle kunnes linssi on horisontaalisesti jalustan panoraamapähän merkityn keskipisteen yllä.



Kuva 13. Kamera siirretään panoraamapään keskipisteen yläpuolelle.
(Andrwes 2003, 40)

Toisessa vaiheessa kameraa katsottaessa sivusta päin kameraa liikutetaan eteen tai taakse. Perspektiivikeskipistettä ei pystytä selvittämään muuta kuin kokeilemalla. Oikean kameran paikan löytämiseksi voidaan esimerkiksi laittaa kaksi pystyyn asetettua tikkua samalle linjalle kameran kanssa. Toinen tikku on lähellä kameraa ja toinen etäämmällä. Mitä lähempänä etummainen kohde on, sitä tarkemmin perspektiivikeskipiste voidaan määrittää.



Kuva 14. Kamera asemoidaan perspektiivikeskipisteeseen kokeilemalla parallaksivirhettä. (Andrwes 2003, 40)

Jos kohteiden välinen etäisyys muuttuu kameraa panoroitaessa, kameraa täytyy siirtää eteen tai taakse päin sen mukaan kuin kohteet liikkuvat suhteessa toisiinsa. Oletetaan, että kameraa panoroidaan oikealle. Tällöin kohteet siirtyvät kuvan vasempaan reunaan. Jos etummainen kohde liikkuu vasempaan suhteessa taaempaan kohteeseen, pyörimispiste on liian kaukana ja kameraa täytyy siirtää eteenpäin. Vastaavasti jos etummainen kohde liikkuu oikealle suhteessa taaempaan kohteeseen, pyörimispiste on liian lähellä, ja kameraa täytyy siirtää taaksepäin. Jos kameraa panoroitaessa kohteiden välinen etäisyys okulaarista katsottaessa pysyy samana, kamera on asemoituna perspektiivikeskipisteeseen. (Douglas. 2008, 7).

3.7 Kuvien lomittaminen

Kuvia yhdistävä ohjelma sitoo kuvat toisiinsa ja sekoittaa saumakohdat näkymätömiin. Tähän tarvitaan kuvia yhdistäviä samankaltaisuuksia. Kuvatessa kuvasarjaa kuvien täytyy mennä osittain päällekkäin. Kuvien yhdistäminen toisiinsa vaatii, että kuvissa on päällekkäisyyttä vähintään noin 30% (Metsämäki 2004, 54). Muutoin kuvien asemointi toisiinsa nähden ei tule onnistumaan.

Kuvat voidaan ottaa lomittain siten, että okulaarista katsottuna seuraavassa kuvassa on esimerkiksi noin 50% edellisen kuvan kuva-alaa. Jalustan panoraamapäätä käytettäessä voidaan käyttää hyödyksi astemittaa, jolla kuvien välistys saadaan kauttaaltaan tasaiseksi. Tämä nopeuttaa kuvausprosessia huomattavasti, kun sopvaa lomitusta ei tarvitse arvioida okulaarista katsomalla. Monirivisessä panoraamassa täytyy huomioida, että kuvasekvenssin kuvat ovat vasemman ja oikean reunan lisäksi lomittain myös ylä- ja alareunassa kohtaavien kuvarivien kanssa.

Liiallinen kuvien päällekkäisyyskään ei välttämättä ole hyvä asia. Mitä enemmän päällekkäisyyttä kuvissa on, sitä enemmän kuvia tarvitaan. Tämä taas vaatii tietokoneelta enemmän aikaa kuvien yhdistämiseen. Tämä ei ole paha ongelma. Kuvat yhdistetään kuitenkin ongelmitta. Jos taas koosto-ohjelma ei kykene tunnistamaan kuvien samankaltaisia pikselisarjoja, voidaan nämä pikselisarjat joutua etsimään käsin. Tämä tuottaa todella paljon lisätyötä. Tässä tapauksessa, jos kuvien päällekkäisyys on yli 50 prosenttia, voidaan harkita joka toisen kuvan poistamista työprosessin nopeuttamiseksi. (Aaland 2003, 182.)

2.8 Tarvittava kuvien määrä

Kameraa täytyy panoroida tietyn kulman verran jokaisen kuvan välillä. Tarvittava astemäärä riippuu objektiivin polttovälistä. Kuvamäärän 50% lomitukseen voi laskea ensin tarvittavien kuvien määrän kokonaiseen 360 asteen pyörähdykseen ja kertomalla luvun kahdella. Tässä tilanteessa täytyy kuitenkin tietää, kuinka monta astetta käytettävän objektiivin kuvakulma on. Apuna voi käyttää myös valmiita taulukoita, joista voi valita käytettävään polttoväliin sopivat kuvamäärät ilman laskemista.

Yhden kuvarivin panoraama on vielä suhteellisen helppo kuvata. Monirivinen panoraama taas vaatii hieman enemmän suunnittelua ennen kuvaamista. Jos kuvattavana on kokonainen pallopanoraama, täytyy koko näkymä saada kuvattua. Mukaan lukien näkymät suoraan ylös (zenith) ja alas (nadir). Taulukoissa esitetyt luvut ovat vain suuntaa antavia, eikä niitä tarvitse noudattaa täysin samalla tavalla.

Polttoväli millimetreinä (35mm kinofil- mikamera tai vastaava)	Tarvittavien kuvien määrä
14	12
18	12
20	12
24	18
28	18
35	20
42	24
50	28

Taulukko 1. Applen suosittelema kuvien määrä 360 asteen panoraamaan. (Andrwes 2003, 42)

Polttoväli	Kuvakulma (vertikaalinen)	Tarvittavien kuvien määrä pallopanoraamaan	Esimerkki kuvasekvenssit (käyttäen 30% päällekkäisyyttä)
15mm	77 x 100 °	14	1 kuva, +90° kallistus 6 kuvaa 60° välein, +30° kallistus 6 kuvaa 60° välein, -30° kallistus 1 kuva, -90° kallistus
17mm	70 x 93 °	18	1 kuva, +90° kallistus 8 kuvaa 45° välein, +30° kallistus 8 kuvaa 45° välein, -30° kallistus 1 kuva, -90° kallistus
20mm	62 x 84 °	26	1 kuva, +90° kallistus 8 kuvaa 45° välein, +60° kallistus 8 kuvaa 45° välein, 0° kallistus 8 kuvaa 45° välein, -60° kallistus 1 kuva, -90° kallistus
24mm	53 x 74 °	29	1 kuva, +90° kallistus 9 kuvaa 40° välein, +50° kallistus 9 kuvaa 40° välein, 0° kallistus 9 kuvaa 40° välein, -50° kallistus 1 kuva, -90° kallistus
28mm	46 x 65 °	32	1 kuva, +90° kallistus 10 kuvaa 45° välein, +45° kallistus 10 kuvaa 45° välein, 0° kallistus 10 kuvaa 45° välein, -45° kallistus 1 kuva, -90° kallistus
35mm	38 x 54 °	50	1 kuva, +90° kallistus 12 kuvaa 30° välein, +60° kallistus 12 kuvaa 30° välein, +20° kallistus 12 kuvaa 30° välein, -20° kallistus 12 kuvaa 30° välein, -60° kallistus 1 kuva, -90° kallistus

Taulukko 2. RealViz:n suosittelemat kuvamäärät pallopanoraamaan.

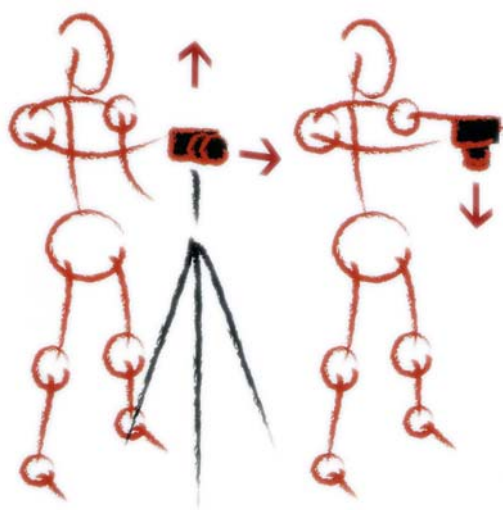
(Andrwes 2003, 45)

3.9 Kuvaustapoja

Kuvaaminen suoraan ylös ja alas

Suoraan ylös ja alas otettavia kuvia tarvitaan pallopanoraamassa. Suoraan ylös otettava kuva on helppo kuvata. Se tehdään kallistamalla kameraa jalustan pano-raamapäässä 90 astetta ylös. Suoraan ylös otettava kuva ei ole kaikissa tapauksissa välttämätön (Bodin ym. 2005, 68). Jos taivas on kauttaaltaan yhdenmukainen, koosto-ohjelmalla voi muista kuvista venyttää taivasta kuvaamatta jääneen alueen päälle.

Suoraan alas otettava kuva on taas hie-man toinen asia. Kuva täytyy ottaa kallis-tamalla kameraa 90 astetta alas kuvaten alue jossa jalusta seisoo. Jotkut valoku-vaajat kuvaavat tämän kuvan jalustan päällä, jolloin jalusta tulee mukaan pano-raamaan tai se jätetään kuvaamatta ja paikalle laitetaan logo tai yksivärinen tyhjä alue. Jos jalustaa ei haluta kuvaan mukaan, ainoa ratkaisu on kuvata suo-raan alapäin ilman jalustaa käsivaralta. Tämä kuva kannattaa kuvata tietenkin aivan viimeisenä, kun muut kuvat on jo kuvattu. Kamera irrotetaan jalustalta ja jalusta siirretään sivuun. Kameran oikea paikka ja asento täytyy yrittää arvioida. Tässä kannattaa huomioida etteivät omat jalat tulisi mukaan kuvaan, varsinkin jos käytetään hyvin laajakulmaista objekti-ivia. Siksi kuva kannattaa ottaa venyttämällä kädet suoriksi ja seisomalla itse mahdollisimman kaukana.



Kuva 15. Kuvaaminen suoraan ylös ja alas (Bodin ym. 2005, 80)

Kuvien ottaminen käsivaralta

Vastään saattaa tulla tilanteita, jolloin käsivaralta kuvaaminen on paras ratkaisu. Jalustan pystyttämien ja kameran asemoiminen on aikaa vievää. Silloin kun kuvaustilanteessa nopeus on ratkaiseva tekijä, kannattaa harkita käsivaralta kuvaamista. Lopputuloksena saadaan kuitenkin kuvasarja, jonka osakuvat ovat kallellaan ja vinossa toisiinsa nähden. Yhdistetystä kuvasta muodostu siis aaltoileva. Lisäksi nämä aallot täytyy rajata pois, jolloin kuva-ala pienenee. Käsivaralta kuvattaessa täytyisi välttää kameran kallistamista. Kallistuneet kuvat vaikeuttaa kuvien yhdistämistä toisiinsa. Kuvien saumakohtissa horisontaaliset linjat eivät välttämättä osu kohdilleen. (Aaland 2003, 180.)

Käsivaralla kuvatessa ei tulisi pyöriä ympäri kohdassa, jossa jalat ovat maassa. Tarkoitus on yrittää pitää kamera samassa pisteessä, jolloin kuvaaja pyörii kameran ympäri. Suurin ongelma käsivaralla kuvatessa tulee olemaan väärä pyörimispiste. Kameraa ei pystytä pitämään oikeassa pyörimispisteessä, jolloin väistämättäkin syntyy parallaksivirheitä. Kuitenkin kuvatessa etäämmällä olevia kohteita parallaksivirheen merkitys vähenee. Lopputuloksena ei välttämättä saada yhtä laadukasta panoraamaa kuin jalustan kanssa kuvatessa.

Kuvaaminen vertikaalisesti

Yleensä panoraamoja kuvatessa kamera on asemoitu horisontaalisesti. Panoraamoja voidaan kuvata myös kameran ollessa pystyasennossa. Tällöin Vaakasuunnassa otettuja kuvia tarvitaan enemmän. Etuna on, että yhdellä vaakarivillä pystytään kuvaamaan vertikaalisesti suurempi kuva. Kuvatessa vakaita kuvia jalustalla kameran ollessa vertikaalisesti, tarvitaan jalustaan kiinnitettävä sovitin (right angle adapter), jos ainoa asento panoraamapäähän kiinnitettävälle kameralle on horisontaalinen. (Aaland 2003, 180.)

Vasemmalta oikealle kuvaaminen

Kuvasekvenssi tulisi kuvata pyörittämällä kameraa vasemmalta oikealle. Kuvien yhdistämisessä käytettävät ohjelmat yleensä olettavat, että kuvat ovat otettu tässä järjestyksessä. Kuitenkin panoraaman voi yhdistää, vaikka kuvasekvenssi olisi kuvattu päinvastaiseen suuntaan. Vasemmalta oikealle kuvaaminen numeroi kuvat oikein, jolloin kuvien yhdistämisessä käytettävän ohjelman käyttö helpottuu. (Aaland 2003, 182.)

3.10 Liikkuvat kohteet

Kuvatessa kannattaa ottaa huomioon kuvan reuna-alueille osuvat liikkuvat autot ja jalankulkijat. Liikkuvat kohteet ovat ongelmallisia kuvia yhdistettäessä varsinkin reunakohdissa, jossa kuvat liittyvät toisiinsa (Bodin ym. 2005, 20). Lopulliseen panoraamaan liikkuva kohde voi tulla vain osittaisena näkyviin, jos kohde on ehtinyt liikkua vastakkaiseen suuntaan, kuin mihin kameraa panoroidaan kuvatessa. Päinvastaisesti liikkuva kohde voi tulla panoraamaan kahdesti, jos kohde liikkuu samaan suuntaan kuin mitä kameraa panoroidaan.

Kuvia voi joutua ottamaan useamman kuin yhden samasta kohdasta, jotta liikkuvat kohteet saadaan sopivasti kuvaan mukaan. Useamman kerran kuvatiusta kohteista voidaan valita parhaimmat otokset, tai kuvista voidaan siirtää osia toisiin kuviin. (Bodin ym. 2005, 32.)

Kun kuvauspaikassa on paljon liikkuvia kohteita, nopeasti liikkuvia pilviä ja auringon valo muuttuu pilvien liikkeessa, kuvat täytyy saada nopeasti. Tällöin jalustan kanssa kuvaaminen voi olla huono vaihtoehto. Käsivaralta kuvatessa etuna on, että kuvat saadaan nopeasti kaapattua talteen, ennen kuin kohteet ennättävät liikkua kauas. (Bodin ym. 2005, 30.)

4 TUOTANTO

4.1 Koosto-ohjelmat

Koosto-ohjelmilla panoraaman osakuvat yhdistetään toisiinsa saumattomasti. Kuvien koosto vaatii paljon muutakin kuin kuvien asemoinnin oikeille paikoilleen. Kuvien koosto vaatii perspektiivin ja linssivääristymien korjaamista, osakuvien asemointia toisiinsa nähden samankaltaisten pikselisarjojen avulla sekä osakuvien liittämistä toisiinsa liu'uttamalla kuvat toistensa päälle (McHugh, Photo stitching digital panoramas).

Suurin osa ohjelmista kykenee tekemään tarvittavat toiminnot nopeasti ja täysin automaattisesti, kun taas jotkin ohjelmat vaativat tarkempaa paneutumista koostamisen yksityiskohtiin. Yleensä parempi lopputulos saavutetaan koosto-ohjelmalla, joka sisältää paljon yksityiskohtien hiomiseen vaadittavia asetuksia, kun ohjelmalla joka on hyvin pitkälle automatisoitu. Tällöin koosto-ohjelma on hyvin tekninen ja työprosessi aikaa vievä.

Lähdekuvien tyyppi	Laitteisto	Sovellus	Lopputulos
Monikuvatekniikka			
Yksirivinen	Dedicated or generic VR head with film or digital camera	ArcSoft Panorama maker Pictureworks Spin Panorama Adobe Photoshop Elements Roxio Photosuite Roxio PhotoVista Panorama Apple QuickTime VR Authoring Studio VR Toolbox Panoworx Panavue ImageAssembler Panorama Tools (PTGui)	Tuloste, sylinteri-panoraama
Monirivinen		RealViz Stitcher Panorama Tools (PTGui) Autostitch	Tuloste, sylinteri-, pallopanoraama
Yhden kuvan tekniikka			
Donitsi	Parabolic reflective optic with digital camera	PhotoWrap	Sylinteripanoraama

Taulukko 3. Koosto-ohjelmat (Andrews 2003, 68-69)

4.1.1 Objektiivin erityispiirteet

Joillekin ohjelmille täytyy asettaa erikseen erityispiirteet kameras objektiivista, jota kuvatessa on käyttänyt. Yleensä koosto-ohjelma yrittää tunnistaa nämä asetukset automaattisesti etsimällä käytetyn linssin piirteitä kuvatiedoston EXIF-tiedoista (Exchangeable image file format). Jotkin ohjelmat, kuten Pictureworks Spin Panorama, eivät kykene käsittelemään kaikkia mahdollisia linssivaihtoehtoja. Tällä, nykyisin iPix:n omistamalla, koosto-ohjelmalla pienin mahdollinen objektiivin polttoväli on 35mm. (Andrews 2003, 27.)

Käytetyn objektiivin tiedot täytyy olla koosto-ohjelmalla tiedossa, jotta se pystyy käsittelemään kuvia oikein. Linssin tietojen avulla koostoprosessi saadaan nopeammaksi ja lomitetut kuvien reunat asemoidaan tarkemmin (Andrews 2003, 70). Tarvittavia tietoja ovat esimerkiksi polttoväli sekä horisontaalinen - ja vertikaalinen kuvakulma (Andrews 2003, 70). Jos näitä tietoja ei ole saatavilla kuvatiedostosta, ne täytyy asettaa käsin. Internetistä löytää tähän tarkoitukseen erilaisia linssilaskimia, jotka helpottavat oikeiden asetusten löytämistä. Alla olevan kuvan laskimella on laskettu kuvakulmat objektiiville, jonka polttoväli on 28mm ja kennon fyysinen koko on 22.7mm X 15.1mm.

Lens focal length:	<input type="text" value="28"/> (mm)	<input type="checkbox"/> fisheye
Film format:	<input type="text" value="other (enter below)"/> ▾	<input type="text" value="landscape"/> ▾
	<input type="text" value="22.7"/> × <input type="text" value="15.1"/> (mm)	
Field of view:	<input type="text" value="44.13"/> × <input type="text" value="30.18"/> (degrees)	<input type="button" value="Lens Calc"/>

Kuva 16. Linssilaskuri (Rigg, Lens calculator)

4.1.2 Kontrollipisteet

Lomitetuista kuvista on tarkoitus löytää yhtäläisyyksiä, jotta osakuvat voidaan tarkasti asemoida toisiinsa nähden. Tähän tarkoitukseen käytetään kontrollipisteitä, joita käytetään pareittain osoittamaan kahden kuvan välillä sama kohta. Nämä pisteet voidaan asettaa kaikkien kuvien väliin joko automaattisesti tai käsin. Automaattitoiminnon etuna on juurikin nopeus. Usein tämä on täysin riittävä. Joissakin tapauksissa automaattitoiminto ei löydä kuvien välisiä yhtäläisyyksiä tai kuvien asemointia täytyy tarkentaa. Tällöin kontrollipisteet täytyy asettaa itse. Riippuen kuvien määrästä, riittävän tarkkuuden saamiseksi aikaa voi kulua hyvinkin paljon. Kontrollipisteiden käsin asettaminen onkin panoraaman koostamisessa aikaa vievin työosuus.

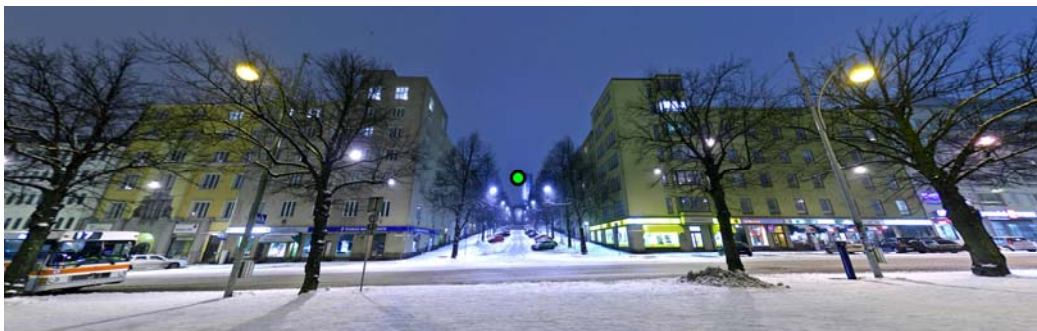
Kontrollipisteiden sijoittelu vaatii, että kuvien välissä on joitakin kiintopisteitä, jotka ovat helposti tunnistettavissa. Jos kahden osakuvan välinen alue on hyvin tasainen eikä kuvien välistä pysty erottamaan selkeitä yhtäläisyyksiä, koostamisesta saattaa tulla erittäin vaikeata. Tämä olisi jo hyvä ottaa huomioon kuvauspaikalla. Kameran pyöräytyskulmat tulisi suunnitella siten, että jokaisen kuvan väliin saadaan riittävästi selkeitä samankaltaisuuksia. Jos kuvat ovat otettu käsivaralta tai ilman jalustan panoraamapäättä, parallaksivirhe pitäisi ottaa tässä yhteydessä huomioon. Parallaksivirheitä sisältävän kuvasekvenssin kontrollipisteet olisi hyvä asettaa kohtiin, joissa kameran ja kuvattavan kohteen välinen fyysinen etäisyys on mahdollisimman suuri. Parallaksi virheen vaikutus lähellä oleviin kohteisiin on suurempi kuin kaukaisiin kohteisiin. Tällä tavoin parallaksivirhe saadaan minimoitua koostamisen yhteydessä. (McHugh, Using photo stitching software.)



Kuva 17. Kontrollipisteparit kuvapareissa. (Koivisto 2008)

4.1.3 Pakopiste

Jotkin panoraamojen koosto-ohjelmat tarjoavat mahdollisuuden asettaa panoraaman pakopisteen. Pakopiste asetetaan kohtaan, joka on luonnossa samalla korkeudella kuin kamera. Eri kuvaprojektioilla pakopisteen muuttaminen muuttaa kuvaa eri tavoin. Rectilinear-projektiossa, jonka muodostama kuva on sama kuin ihmisilmällä katsottuna, pakopisteen ollessa asetettuna liian ylös, pystysuoriksi tarkoitettut linjat ovat vinossa ja alkavat lähestyä toisiaan kuvan yläreunassa. (McHugh, Using photo stitching software.)



Kuva 18. Liian korkealle asemoitu pakopiste rectilinear-projektiossa (Koivisto 2008.)

Jos sylinteripanoraamoissa pakopiste on asetettu väärään paikkaan, panoraaman horisontista tulee aaltoileva. Oikean pakopisteen löytäminen saattaa olla hankalaa panoraamoissa, joissa ei ole selvää horisonttia. Tällöin pakopisteen voi asettaa sopivalle korkeudelle, jossa kuvan aaltoilu on vähäisintä. (McHugh, Using photo stitching software.)



Kuva 19. Liian alas asemoitu pakopiste cylindrical-projektiossa (Koivisto 2008.)

4.1.4 Kuvaprojektiot

Kuvaprojektion tarkoitus on muuntaa kolmiulotteisen muodon tasaiselle kaksiulotteiselle pinnalle. Esimerkki projektioista voisi olla vaikkapa maapallon kartta, jossa pallon pinta on levitetty tasaiseksi kuvaksi. Koko näkökenttä ihmisen ympärillä voidaan ajatella olevan myös pallon muotoinen. Tämän näkökentän pinta voidaan projisoida samaan tapaan kaksiulotteiselle tasaiselle pinnalle. Kun pallon pinta projisoidaan tasolle, kuvaan tulee aina jonkin kaltaisia vääristymiä. (McHugh, Panoramic image projections.)

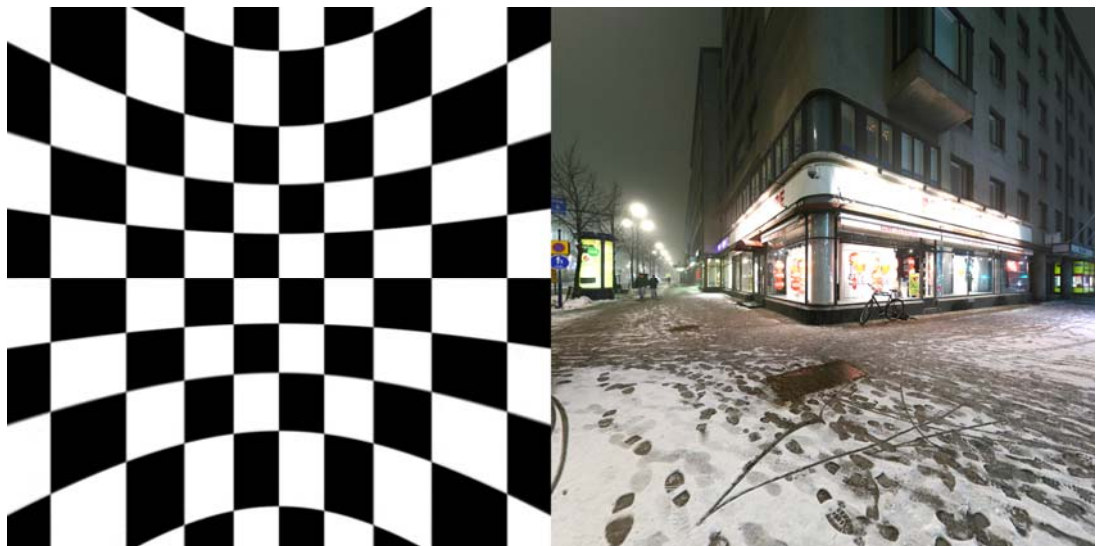
Lähdekuvien koostovaiheessa panoraamalle määritellään jokin projektio, jonka mukaan panoraama vääristetään suorakaiteen muotoiseen kuvaan sopivaksi. Panoraamaan valittu projektio määräytyy käytetyn koosto-ohjelman tarjoamista vaihtoehdoista, lähdekuvista sekä halutusta panoraamatyypistä. (Andrews 2003, 114.) Projektio ei ole sama asia kuin panoraaman tyyppi. Jotkin koosto-ohjelmat tarjoavat lopullisen panoraaman projektiovaihtoehdoiksi panoraaman tyyppin nimeä. Tämä johtunee siitä, että ohjelmistovalmistajat ovat halunneet tehdä ohjelmistojensa käytöstä ymmärrettävämpiä.

Panoraamat esitetään tietyssä kuvakulmassa. 360x180 asteen näkymässä yhdessä kuvassa nähdään jokaiseen mahdolliseen suuntaan. Kaikilla kuvaprojektioilla ei pystytä esittämään tätä täydellistä näkökenttää. Projektioilla on kaksi rajoittavaa tekijää: fyysiset rajat ja käytännölliset rajat. Fyysiset rajat tulevat projektioissa vastaan, kun laajaa näkymää on täysin mahdotonta projisoida tasaiselle pinnalle. Käytännöllisten rajojen tullessa vastaan kuvan reunojen vääristymät alkavat olla liian näkyviä.

Neljä yleisintä kuvaprojektiota panoraamakuvauksessa ovat: rectilinear-, equirectangular-, cylindrical- ja cubic-projektiot.

Rectilinear-projektio

Tämä projektio on se, johon silmämme ovat tottuneet. Useimpien objektiivien tuottama kuva on myös rectilinearinen (Kreunen 2000, Image projections). Tässä siis kuva on projisoitu tasaiselle pinnalle. Suorat viivat säilyvät suorina panoraamassa samalla tapaa, kuin ne ovat todellisuudessaakin. Tämä projektio sopii erityisesti arkkitehtuuripanoraamoihin. Rectilinear-projektioilla ei pystytä esittämään yli 180 asteen panoraamoja. Kuvakulman kasvaessa perspektiivivaikutelma tulee liioitellun suureksi ja panoraama alkaa venymään keskeltä kohti kuvan reunoja. Tämän takia käytännöllinen raja on 120 astetta. (PTGui 2007, Projections.)



Kuva 20. Rectilinear-projektio 120 X 120 astetta (Koivisto 2008.)

Equirectangular-projektio

Jotta tätä projektiota voitaisiin katsoa oikein, kuva täytyy kääriä pallon ympärille. Siksi tätä projisointia käytetään yleensä pallopanoraamoissa. Tällä projisoinnilla pystytään esittämään koko näkymä yhdessä kuvassa. Kuvasuhde täydessä 360x180 Equirectangular-projektiossa on 2:1. Tässä projektiossa pystysorat linjat ja horisontaalinen keskilinja ovat projisoitu suoriksi. Kaikki muut linjat kuvassa on taivutettu kaareviksi. (PTGui 2007, Projections.)



Kuva 21. Equirectangular-projektio. 360 X 180 astetta (Koivisto 2008.)

Cylindrical-projektio

Sylinteriprojektiossa palloksi oletetun näkökentän pinta on projisoitu sylinterin pintaan. Sylinteriprojektio sopii parhaiten yhden rivin 360 asteen panoraamoille. Horisontaalisesti tällä projektioilla ei ole mitään rajoittavia tekijöitä. Pystysuuntaisesti rajoittavat tekijät ovat samat kuin Rectilinear-projektioilla. Vertikaaliset linjat säilyvät pystysuuntaisina ja horisontaalinen keskilinja pysyy vaakasuuntaisena. Muiden vaakasuuntaisten linjojen väliset etäisyydet venyvät kohti äärettömyyttä lähestyttäessä kuvan ylä- ja alareunoja. (PTGui 2007, Projections.) Tämä projektio on myös sama kuin perinteisten panoraamakameroiden tuottama kuva (McHugh, Panoramic image projections).



Kuva 22. Cylindrical-projektio. 360 X 120 astetta (Koivisto 2008.)

Cubic-projektio

Cubic-projektio on saman tapainen kuin rectilinear-projektio, jossa kuva on projisoitu kuution kuudelle sivulle. Jokaisessa sivussa on oma rectilinear-projektio, joissa jokaisessa kuvakulma on $90^{\circ} \times 90^{\circ}$.



Kuva 23. Cubic-projektio. 360 X 180 astetta (Koivisto 2008.)

Circular / Fullframe

Nämä projektiot muistuttavat kalansilmäobjektiivilla otettua kuvaa. Panoraama on siis pyöräytetty palloksi, jossa näkökenttä on täysi 360×180 astetta. Circular-projektio eroaa Fullframe-projektioista siinä, että Circular-projektio on rajattu pallon muotoiseksi, kun taas Fullframe-projektio on rajattu neliön muotoiseksi, jossa neliön tyhjät kulmakohdat ovat täytetty panoraaman peilikuvalla. Näitä kahta projektiota voi käyttää myös muodostamaan niin sanotun 'pikku planeetan', jossa taivas on pallon reunoilla ja maa kuvan keskellä. (PTGui 2007, Projections.)



Kuva 24. Circular-projektio. 360 X 180 astetta (Koivisto 2008.)

Projektio		
	Horisontaalinen raja	Vertikaalinen raja
Rectilinear	180° / 120°	180° / 120°
Cylindrical	-	180° / 120°
Equirectangular	-	180°
Circular / Fullframe	360°	180°

Taulukko 4. Projektioiden kuvakulmat

Projektio	Suorat linjat kuvassa		
	Vertikaalinen	Horisontaalinen *	Vinottainen
Rectilinear	X	X	X
Cylindrical	X	-	X
Equirectangular	X	-	-
Circular / Fullframe	-	-	-

Taulukko 5. Suorat linjat projektioissa. (Kreunen 2000, Image projections).

* Horisonttia lukuun ottamatta

** Keskipisteen läpi kulkevia linjoja lukuun ottamatta

4.2 Koostovirheiden korjaaminen

4.2.1 Yli- ja alivalotuksen korjaaminen

Ongelmakohtien korjaaminen on hankalinta, kun korjattava alue on kahden kuvan välissä, eli jakautunut kahdelle kuvalle. Kuvatessa ongelma-kohtat olisi hyvä sijoittaa osakuvien keskelle, jotta oletettavaa ongelma-kohtaa ei tarvitsisi muokata kahdessa eri kuvassa (Bodin 2005, 20).

Joihinkin kuvasekvenssin kuviin on voinut osua kirkas valonlähde, esimerkiksi sisätiloissa kuvaan saattaa osua lamppu tai ikkuna, joka on muuta huonetta selvästi kirkkaampi. Tämä näkyy kuvassa ylivalottuneena alueena. Toisaalta kokonaisten kuvien valotus voi vaihdella kuvasekvenssissä, jos esimerkiksi auringon edessä liikkuva pilvi on ehtinyt kuvauksen aikana muuttaa valaistusta tai jos kameran automaattivalotus on jäänyt päälle.

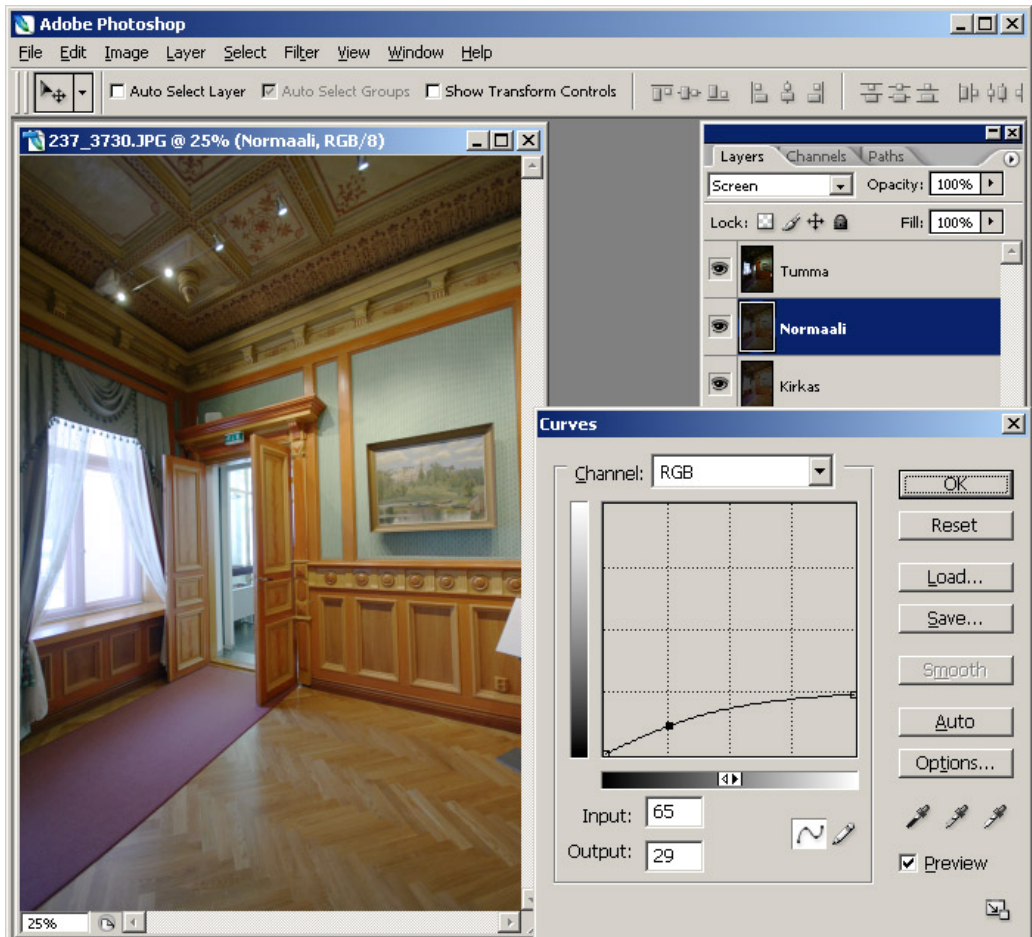


Kuva 25. Sama kuva eri valotuksella (Koivisto 2008.)

Jotkin koosto-ohjelmat kykenevät korjaamaan valotusvirheitä automaattisesti säätämällä osakuvien kirkkautta, jolloin panoraamasta saadaan kauttaaltaan yhtenevä. Tällä ei kuitenkaan kyetä korjaamaan hyvin suuria valotusvirheitä. Kuvauspaikalla mahdolliset ongelma-kohtat tulisi jo arvioida. Näistä ongelma-kohtista tai koko näkymästä voidaan tarvittaessa ottaa lisäkuvia eri valotusajoilla. Ylivalottuneen kohdan voi korjata kuvankäsittelyohjelmalla, kuten esimerkiksi Photoshop:illa tai Gimp:illa, käyttämällä apuna toista kuvasekvenssiä, joka on tarkoituksella alivalotettu. Vaihtoehtoisesti eri valotusajoilla kuvatuista kuvasekvensseistä voidaan

koostaa myös HDR-panoraama, jolloin valotusvirheet voidaan korjata tone mapping tekniikalla. HDR-panoraamoista kerrotaan lisää kappaleessa 5.2 HDR-panoraama.

Kuvankäsittelyohjelmassa ali- ja ylivalottuneet kohdat voidaan korjata asettamalla vastaavat kuvat päällekkäin tummimmasta kirkkaimpaan. Jos samasta kohteesta on kolme eri valotusta, kuten kuvassa 25, tumman ja normaalin kuvan tasojen tilat asetetaan alavetovalikosta kohtaan Screen. Ylivalotetun ja normaalin kuvan valkoiset alueet ja keskisävyt rajataan adjustment curvea säätämällä ja samalla tarkkailemalla lopputulosta. (Andrews 2003, 90-92.)



Kuva 26. Valotuksen korjaaminen yhdistäen kolme kuvaa (Koivisto 2008.)

4.2.2 Liikkuvat kohteet

Liikkuvat kohteet, kuten jalankulkijat ja autot, saattavat aiheuttaa lopulliseen panoraamaan pahoja ongelmia. Jos liikkuva kohde on ehtinyt siirtyä paikasta toiseen kuvauksen aikana, saattaa kohde tulla lopulliseen panoraamaan vain osittain. Kuvien yhdistämien toisiinsa koosto-ohjelman automaattitoiminnolla saattaa olla täysin mahdotonta. Tässä tapauksessa kuvat voi joutua liittämään toisiinsa käsin asettamalla kontrollipisteet osakuvien vastaaviin kohtiin (Bodin 2005, 26). Näitä ongelmia voi korjata osakuvissa kuvankäsittelyohjelmalla ennen varsinaisen panoraaman muodostusta tai vaihtoehtoisesti koostamisen jälkeen, joko poistamalla tai korjaamalla taustaan sekoittuneet liikkuvat kohteet.

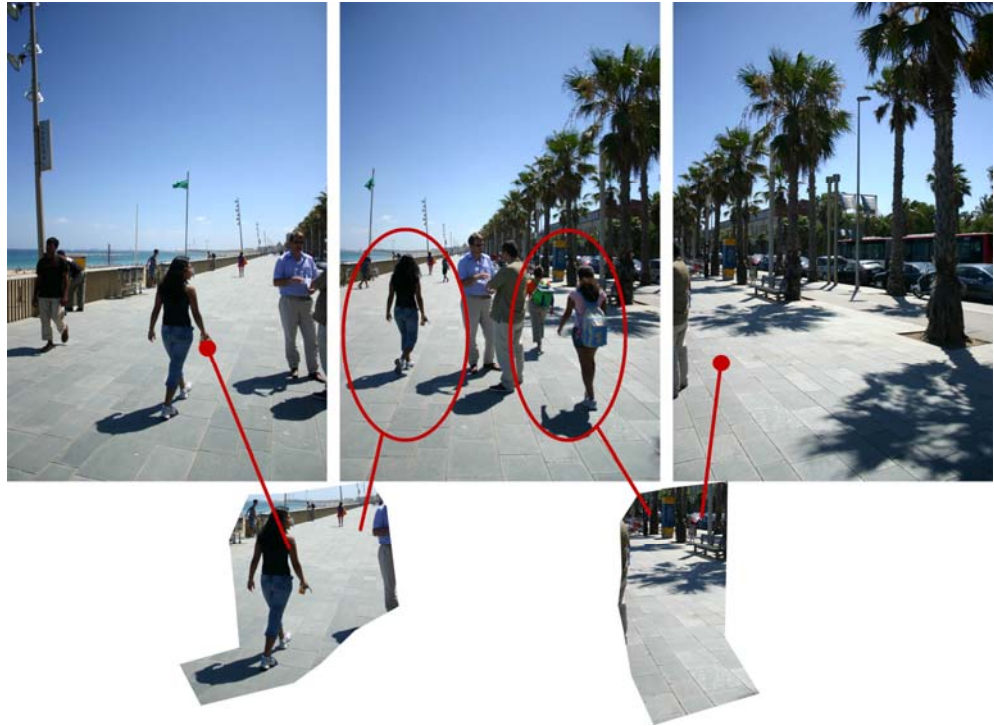


Kuva 27. Liikkuvia kohteita sisältäneet osakuvat ovat liitetty toisiinsa koosto-ohjelman automaattitoiminnolla (Koivisto 2008.)

Ongelmakohtien korjaamiseen voi käyttää kuvankäsittelyohjelmien työkaluja, kuten Clone stamp, Patch tool tai Healing brush. Näillä työkaluilla peitetään ongelmakohta kuvasta löytyvällä kuvamateriaalilla. Korjauksen lopputulos riippuu siitä, miten vastaavankaltaisen kohdan löytää kuvasta, jotta peitettävästä alueesta tulisi huomaamaton.

Kun kuvat ovat kuvattu lomittain, vierekkäisistä kuvista löytää kahteen kertaan kuvattuja alueita. Kun kohde on ennättänyt siirtyä paikasta toiseen kuvien välillä, se on samalla paljastanut alueen itsensä takana. Tätä paljastunutta taustaa apuna käyttäen kohde voidaan poistaa vastakkaisista kuvista. Tämä tehdään kopioimalla pala viereisestä osakuvasta ja liittämällä se saumattomasti tason maskien avulla

uuteen paikkaansa. Kopioitavat kuvapalat eivät kuitenkaan sovi täsmälleen uuteen paikkaansa. Objektiivin pallopoikkeama on vääristänyt kuvat, ja saman kohteen muoto ja sijainti voi poiketa kahta vierekkäistä kuvaa verrattaessa. Siksi kopioitua kuvapalaa voi joutua käsittelemään jollakin kuvan vääristys työkalulla, jotta kappaleen muoto saadaan uuteen paikkaan sopivaksi.



Kuva 28. Kuvat ovat yhdistetty korjaamisen jälkeen (Koivisto 2008.)

Jotkin koosto-ohjelmat, kuten PTGui, tarjoavat koostetun panoraaman tallentamisvaihtoehdoksi Photoshopin PSD-tiedostoformaattia. Tässä formaatissa etuna on, että koostetun panoraaman osakuvat saadaan erillisinä tasoina, jolloin liikkuvia kohteita pystytään korjaamaan vielä tason maskien avulla kooston jälkeenkin. RealViz Stitcher koosto-ohjelmassa on itsessään jo tämän kaltainen aputoiminto. Ongelmakohta kuvien reunoissa rajataan kynätyökalulla, minkä jälkeen RealViz Stitcher osaa häivyttää kuvan reunat, ilman että kohteet tulevat vain puoliksi näkyviin (Andrews 2003, 93).

4.2.3 Haamukuvat

Kuvien saumakohdissa, jossa kuvat sulautuvat yhteen, huonosti asemoidut osakuvat erottuvat toisistaan osittain läpinäkyvinä haamukuvina. Haamukuvat syntyvät siis huonon kuvien kooston seurauksena. Tämän voi korjata kuvankäsittelyohjelmassa esimerkiksi Clone stamp –työkalulla kopioimalla taustaa haamukuvan päälle. Paras ratkaisu haamukuvien korjaamiseen on kuvien tarkempi asemointi koosto-ohjelmassa. Toisinaan tämä saattaa olla työläämpi vaihtoehto, jos kuvasekvenssi on kuvattu käsivaralta ja osakuvien välillä on suuria parallaksivirheitä.



Kuva 29. Haamukuvia osakuvien saumakohdissa (Koivisto 2008.)

4.3 Katseluohjelmat

Kun panoraama on valmis, sen voi tallentaa kuvatiedostoksi esittämistä varten. Tätä kuvatiedostoa voi käyttää sellaisenaan, mutta erilaiset esitystekniikat antavat eloa näytökseen. Panoraamakuva itsessään sisältää vielä vääristymiä tässä vaiheessa. Suoriksi oletetut vertikaalit ja horisontaalit linjat saattavat olla kuvassa kaarevia. Esitysohjelmat kuitenkin korjaavat nämä virheet muodostaen immersivisen kuvan, joka muistuttaa rectilinear-projektiota.

Kun panoraamaa katsotaan katseluohjelman kautta, näkyvissä on vain osa panoraamasta. Panoraamaa ei siis näytetä kokonaisuudessaan. Katsojan on tarkoitus saada kokemus, että hän on itse paikan päällä katsomassa tilannetta tai paikkaa, josta kuvaaja on löytänyt tallentamisen arvoisen muiston. Katselija on ikään kuin kääritty panoraaman sisään, jossa hän voi vapaasti katsella eri suuntiin. Katseluohjelman tarkoitus on antaa katsojalle vapaat kädet tilan tarkasteluun

Kun panoraama on valmis, sen voi tallentaa kuvatiedostoksi, joka edelleen liitetään katseluohjelmaan HTML-koodin avulla. Vaihtoehtoisesti panoraama tallennetaan tiedostoformaattiin, jossa panoraamakuva ja panoraaman toimintoihin sekä ulkoasuun vaikuttava metadata ovat jo sisällä yhdessä tiedostossa. Tämä riippuu täysin siitä, mitä katselutekniikkaa halutaan käyttää.

4.3.1 Esitystekniikat

Tällä hetkellä kaksi eniten käytettyä panoraamojen katselutekniikkaa Internetissä ovat QTVR (QuickTime Virtual Reality) sekä Java. QTVR on Applen kehittämä katselutekniikka, johon myös ensimmäisenä kehitettiin pallopanoraamatekniikka. (Lehtinen 2003, 22). Java on puolestaan ohjelmistoalusta ja ohjelmointikieli. Tässä viitataan kuitenkin tekniikkaan, jolla panoraamaa esitetään. Java-ohjelmointikielillä on tehty katseluohjelmia, kuten esimerkiksi PTViewer ja Pure Player. Näiden kahden tekniikan haastajaksi on noussut vasta hiljattain Flash-esitystekniikka. Uuden vaihtoehdon myötä myös uusia esitysohjelmia on tarjolla, kuten esimerkiksi Pano2VR ja Flash Panorama Player. Panoraamojen esittämiseen on olemassa muitakin vähemmän vakiintuneita esitystekniikoita, kuten esimerkiksi VRML ja Shockwave.

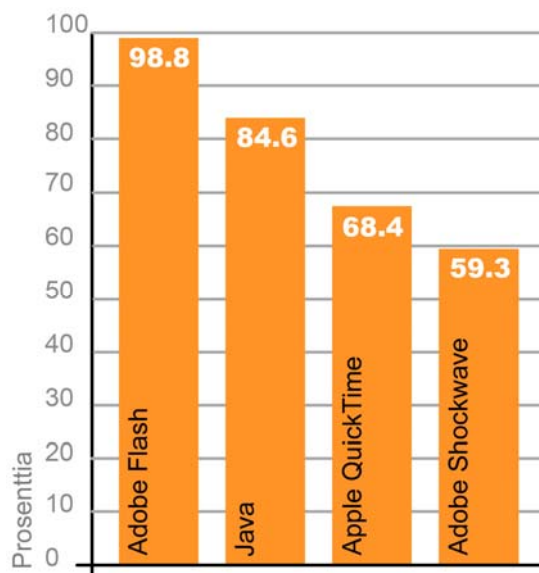
Java ja QTVR ovat vakiintuneita alustoja panoraamojen esittämiseen ja täten luotettavimpia. Internetissä näkyvät Java-katseluohjelmat eivät kykene suurikokoisiin esityksiin. Tämä johtuu Java-katseluohjelmien suhteellisen alhaisesta muistirajasta (Greenstone, VR panorama viewers). Esityksen resoluutio täytyy pitää suhteellisen alhaisena, jotta esitys olisi sulava. Tässäkin poikkeuksen tekee kuitenkin Pure Player, jonka Java-sovelluksella päästään saman kokoisiin esityksiin kuin QTVR:llä ja Flash:lla. QTVR- ja Flash-tekniikoilla pystytään esittämään nykyisin jo suurempikokoisia panoraamoja sulavasti kokonäytön tilassa.

4.3.2 Käyttäjän huomioiminen

Java on yleisesti jo asennettuina käyttöjärjestelmien mukana Macintoshin OS X-järjestelmiin sekä PC-puolella Windows-järjestelmiin. Javalla toteutetut katseluohjelmat eivät tarvitse toimiakseen uusinta Javan verisota. Tämän ansiosta Java-tekniikalla toteutetut katseluohjelmat toimivat hyvin suurella varmuudella käyttäjän koneessa. Samoin Flash on hyvin suurella osalla käyttäjien koneissa. Kuitenkin lähes kaikki Flash-tekniikalla toteutetut esitysohjelmat vaativat uusimman version 9 toimiakseen.

VRML ei välttämättä ole hyvä ratkaisu, koska sen vaatima liitännäissovellus ei hyvin toden näköisesti ole katselijan koneessa. Tietenkin kaikki muutkin vaihtoehdot vaativat, että käyttäjän koneeseen on asennettu liitännäissovellus tai muu ohjelmisto. VRML tässä tapauksessa on ehkä vähiten tunnettu.

Kun panoraamaesitykseen halutaan lisää toimintavarmuutta, käyttäjälle voidaan tarjota sama panoraama useammassa eri formaatissa. Helpoin tapa on antaa käyttäjälle mahdollisuus valita haluamansa esitystekniikka listamalla tarjottavat vaihtoehdot, joista panoraama avautuu valitulla ohjelmalla esitettäväksi. Tämänkin voi pii-



Kuva 30. Millward Brown survey, tehty Joulukuussa 2007. PC-käyttäjät prosentteina, joilla pääsy internettiin.

lottaa käyttäjältä kokonaan lisäämällä skriptejä, jotka tunnistavat käyttäjän järjestelmässä olevat liitännäiskomponentit. Esitystekniikkoja valittaessa kannattaa suosia yleisimpiä katselutekniikoita, kuten QTVR, Flash ja Java, ja jättää harvinaisemmat katseluohjelmat vähemmälle.

4.3.3 Panoraaman lisääminen HTML-sivulle

Katseluohjelmat vaativat panoraaman esittämiseen panoraamakuvan sekä HTML-sivun, joka sisältää metadatan esitysikkunan lisäämiseen HTML-sivulle. Joillakin katseluohjelmilla, kuten QuickTime VR ja Pure Player, kuva ja metadata ovat pakattuna yhteen tiedostoon, mikä helpottaa hieman esityksen käyttöönottoa. (Rigg, Putting panoramas and objectmovies in a web page.) Jotkin koosto-ohjelmat luovat automaattisesti myös tarvittavan HTML-koodin. Useimmiten se pitää kuitenkin itse kirjoittaa. Tässä apuna voi käyttää mitä tahansa tekstinkäsittelyohjelmaa.

QuickTime VR-katseluohjelman lisääminen HTML-sivulle

```
<object classid="clsid:02BF25D5-8C17-4B23-BC80-D3488ABDDC6B"
width="320" height="256" code-
base="http://www.apple.com/qtactivex/qtplugin.cab#version=6,0
,2,0">
  <param name="src" value="sample.mov" />
  <embed src="sample.mov" width="320" height="256"
  plugin-
spage=http://www.apple.com/quicktime/download/></embed>
</object>
```

Esimerkki 1. QuickTime VR-katseluohjelman lisääminen HTML-sivulle (Apple developer connection. 2008. Lähde on muokattu.)

QuickTime VR-katseluohjelman tiedostopääte on MOV. Tarvittavat HTML-tagit ovat embed sekä object. Object-tagi on Microsoft Internet Explorerin ActiveX komponenttia varten, kun taas Object-tagin sisällä oleva embed-tagi on muita selaimia varten. (Apple developer connection. 2008.) Käyttämällä näitä kahta tagia sisäkkäisesti saadaan esitysohjelma toimimaan käytettävästä selaimesta riippumatta.

Koodissa ikkunalle asetetaan mitat ja tarvittava panoraama, joka on pakattuna yhteen MOV-tiedostoon. Pluginspage-parametri osoittaa liitännäisosan URL osoitteen, ja codebase osoittaa Internet Explorerin ActiveX-komponentin URL-osoiteen. Näistä URL-osoitteista selain pystyy automaattisesti hakemaan QuickTime:n, jos sitä ei ole asennettu käyttäjän koneelle. Classid-parametri kohtaan on asetettu Microsoftin valtuuttama QuickTime ActiveXn - komponentin ID, joka on aina vakio. Tämä saa Internet Explorerin lataamaan QuickTime ActiveX komponentin, jos se on asennettuna.

Tarvittavat tiedostot ovat tässä esimerkissä sample.mov sekä html-tiedosto, johon tämä koodi on kirjoitettu.

(Apple developer connection 2007.)

Flash-katseluohjelman lisääminen HTML-sivulle

```
<object classid="clsid:d27CDB6E-AE6D-11cf-96B8-444553540000"
id="PurePlayer" width="100%" height="100%" codebase="http://fpdownload.macromedia.com/get/flashplayer/current/swflash.cab#version=9,0,0,0">
  <param name="movie" value="PurePlayer.swf" />
  <param name="allowScriptAccess" value="sameDomain" />
  <param name="allowFullScreen" value="true" />
  <param name="flashvars" value="panorama=mypano.ivp" />
  <embed src="PurePlayer.swf" width="100%" height="100%"
name="PurePlayer" align="middle" play="true" loop="false"
quality="high" allowScriptAccess="sameDomain" allowFullScreen="true" flashvars="panorama=mypano.ivp"
type="application/x-shockwave-flash"
pluginspage="http://www.adobe.com/go/getflashplayer">
</embed>
</object>
```

Esimerkki 2. Flash-katseluohjelman lisääminen HTML-sivulle. (RealViz Forum. 2006)

Flash-katseluohjelman lisäämisessä HTML-sivulle käytetään samaa object ja embed tagien rakennetta kuin lisättäessä QTVR-katseluohjelmaa. Käytettävät parametrit ovat osittain samoja, mutta parametrien arvot ovat tietenkin asetettu Flash-liitännäisen mukaan. Esimerkissä on lisätty HTML-sivulle Pure Player – katseluohjelma. Panoraama ja metadata ovat pakattuina yhteen IVP-tiedostoon, joka sekin välitetään parametrina katseluohjelmalle. Tarvittavat tiedostot ovat tässä esimerkissä: PurePlayer.swf (Flash-katseluohjelma), mypano.ivp sekä html-tiedosto, johon tämä koodi on kirjoitettu.

Java-katseluohjelman lisääminen HTML-sivulle

```
<APPLET archive=ptviewer.jar code=ptviewer.class width=400
height=250>
<PARAM name=file value="panorama.jpg">
<PARAM name=fov value="100">
</APPLET>
```

Esimerkki 3. Java-katseluohjelman lisääminen HTML-sivulle (Koivisto 2008.)

Java-katseluohjelma lisätään sivulle applet-tagin avulla. Esimerkissä on käytetty PTVIEWER katseluohjelmaa, jonka tiedostopäätte on JAR (Java ARchive). PTVIEWER tarvitsee muutaman parametrin toimiakseen, joista tässä on asetettu PTVIEWER:n polku ja luokka JAR-tiedoston sisällä, esikatseluikkunan mitat, kuvatiedoston polku sekä kuvakulma (fov). Muitakin parametreja on olemassa, mutta tässä ovat tärkeimmät. Tarvittavat parametrit voivat poiketa käytettäessä jotain muuta Java-katseluohjelmaa. Kun HTML-koodi on tallennettu, panorama on valmis katseltavaksi käynnistämällä HTML-tiedoston. Tarvittavat tiedostot ovat tässä esimerkissä: ptviewer.jar (Java-katseluohjelma), panorama.jpg sekä html-tiedosto, johon tämä koodi on kirjoitettu.

4.4 Virtuaalikierrokset

Useista panoraamoista pystytään koostamaan erilaisia virtuaalikierroksia (virtual tour). Panoraamaesitykseen saadaan lisää interaktiivisuutta lisäämällä panoraamaan linkkejä (hotspot), jotka johtavat käyttäjän uuteen panoraamaan tai internet-sivustolle. Esimerkiksi panoraamassa voi olla oviaukon kohdalla linkki, jota painamalla katsojalle avautuu uusi panoraama. Panoraamakuva vaihdetaan toiseen, ikään kuin katselija kulkisi ovesta toiseen huoneeseen. Lisäksi panoraamat voidaan yhdistää karttaan, jossa kameroiden paikat ovat merkattuina. Kun kameran valitsee kartalta, panoraamakuva vaihtuu kartan kohdetta vastaavaan katselukohteeseen.



Kuva 31. Virtuaalikierrros Sydneyn oopperatalosta. (Andrews 2003, 121)

Panoraamojen toisiinsa linkittäminen ja hyperlinkkien lisääminen eivät ole ainoita asioita, joita virtuaaliesityksessä voi olla. Yksittäinen panoraama virtuaalikerroksessa voi sisältää ääntä, videokuvaa, sekä tehosteita, kuten sumutehoste ja valonsäteet. Panoraaman mahdolliset ominaisuudet ja tehosteet riippuvat täysin käytetyn esitysohjelman tarjoamista mahdollisuuksista.

Virtuaalikerrosten tekemiseen tarvitaan tarkoitukseen sopiva ohjelma, kuten QuickTime Authoring Studio tai VR Toolbox's SceneWorx, jolla panoraamat voidaan linkittää toisiinsa. Joissakin koosto-ohjelmissa tämä toiminto saattaa olla jo mukana. Alkeellisempi tapa virtuaalikerrosten luomiseen on HTML-, XML-koodin tai skriptien avulla. Tämä riippuu täysin käytettävästä esitystekniikasta. Kaikki esitysohjelmat eivät anna mahdollisuutta panoraamojen yhteen linkittämiseen suoraan HTML-sivulle kirjoitetun koodin avulla. Esimerkiksi Java-pohjainen PTVIEWER mahdollistaa virtuaalikerrosten luomisen suoraan HTML-sivulle kirjoitetun koodin avulla, kun taas QTVR-panoraamalle tämä ei ole mahdollista.

5 MUITA SOVELLUKSIA

5.1 Stereopanoraama

Stereokuvassa katsoja pystyy kokemaan syvyysvaikutelman. Stereokuvan syvyysvaikutelma muodostuu katsojan mielessä, välittämällä erillinen kuva molemmille silmille. Stereokuva on tavallinen kuva, jossa yhdistyy kaksi toisistaan hieman erillään kuvattua vierekkäistä kuvaa. Stereokuva pystytään näkemään kahtena erillisenä kuvana suodattamalla kuvasta eri silmille vain tietyn kaltaisia valonsäteitä.

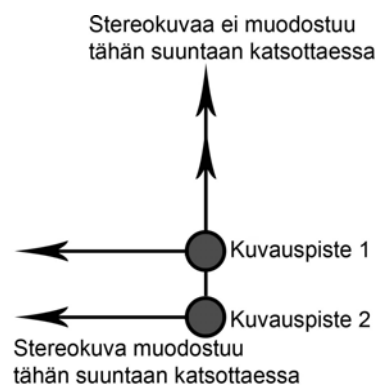
Yleisin tapa luoda stereokuvia on sekoittaa kahden stereokuvaparin värikanavat keskenään. Tällöin stereokuvan katsomiseen tarvitaan lasit, joiden linssit ovat eri väriset. Muitakin tekniikoita, kuin värien erottelu, on olemassa. Esimerkiksi stereokuvaa voidaan projisoida kankaalle kahdella dataprojektorilla, jotka lähettävät eri suuntaisia valonsäteitä. Tämän kuvan näkemiseksi valonsäteet erotellaan polarisaatiolaseilla, jotka päästävät lävitseen vain tietyn suuntaista valoa.

Kuvaaminen

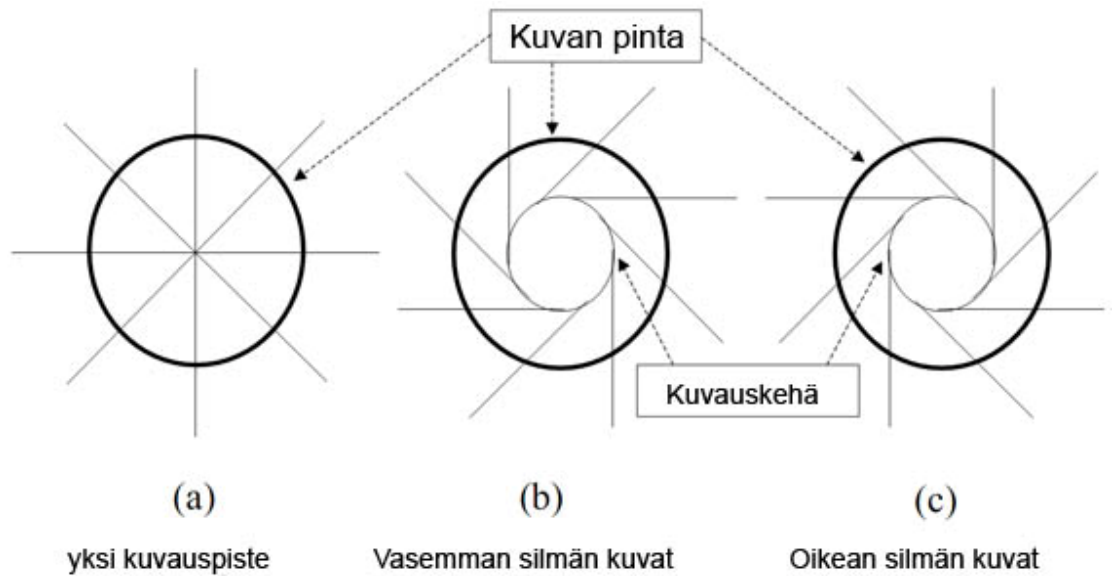
Stereopanoraaman tekemisessä tarvitaan siis kaksi eri panoraamaa. Kaksi panoraamakuvaa, jotka ovat kuvattuna kahdesta eri pisteestä, voidaan nähdä stereokuvana, vain jos katsomis-suunta on kohtisuorassa kahta kuvauspistettä yhdistävän linjan kanssa. Stereokuva menettää vaikutuksensa täysin katsottaessa suuntaan, joka on kahta kuvauspistettä yhdistävän linjan kanssa saman suuntainen. Tämä johtuu siitä, että kuvas-linjoista tulee yhteneviä panoroitaessa kameraa. (Peleg & Ben-Ezra, Stereo panorama with a single camera.)

Kun tavallisessa panoraamassa osakuvat ovat kuvattu yhdestä pisteestä, stereopanoraamassa stereokuvaparit täytyy kuvata useasta eri katse-lupisteestä. Kuvauspisteet muodostavat kehän ja kuvaussuunnat ovat tämän kehän tangentin suuntaiset. Vasemman silmän kuvat kuvataan myötäpäivään ja oikean silmän kuvat kuvataan vastapäivään. Stereopanoraaman jokaisella ku-villa on siis oma kuvauspiste ja suunta. (Peleg & Ben-Ezra, Stereo panorama with a single came-ra.)

Jotta kamera saadaan pyörimään oikealla kehäl-lä, kamera täytyy asettaa hieman sivuun, jolloin pyörimiskeskkipiste ei ole perspektiivikeskipis-teessä. Mitä ilmeisemmin tällä kuvaustavalla molempiin panoraamoihin tulee parallaksivir-heitä. Kamera on kuitenkin vain muutaman sen-tin etäisyydellä pyörimiskeskkipisteestä. Etäisyys on suurin piirtein sama kuin silmän keskipisteen etäisyys nenän varren keskipisteestä.



Kuva 32. Virheellisesti kuvattu stereopanoraama. (Peleg & Ben-Ezra, Stereo panorama with a single camera. Kuvaa on muokattu)



Kuva 33. Stereopanoraaman kuvaaminen. (Peleg & Ben-Ezra, Stereo panorama with a single camera.)

Stereokuvan muodostaminen sekoittamalla värikanavat

Stereokuva muodostetaan joko tavallisella kuvankäsittelyohjelmalla tai stereokuvien tuottamiseen erikoistuneella ohjelmalla. Mikä tahansa kuvankäsittelyohjelma käy. Ainoa vaatimus on, että sen täytyy kyetä käsittelemään värikanavia erillään. Yksi tapa värikanavien sekoittamiseen kahden kuvan välillä on valita kuvankäsittelyohjelmassa oikean silmän kuvasta sininen ja vihreä värikanava. Nämä kaksi värikanavaa kopioidaan ja ne liitetään vasemman silmän kuvan vastaaviin siniseen ja vihreään värikanavaan. Näin syntyy epäselväkuva, jossa on alkuperäisten värien lisäksi varjokuvia syaanin ja punaisen värisenä. Näitä värikanavia voi joutua vielä asemoimaan paremman lopputuloksen saamiseksi.

5.2 HDR-panoraama

Valokuvattaessa kohteita, joissa valo luo kuvaan suuren kontrastin, täytyy usein valotusajan suhteen tehdä kompromissi asettamalla keskiarvoltaan sopiva valotus. Kuvattaessa varjoalueita pidemmällä valotusajalla saadaan näkyviin tämän alueen yksityiskohdat. Haittapuolena on, että samalla auringon valoon osuneet alueet ylivaltuvat, mikä ilmenee kuvassa täysin valkoisena alueena. Vastaavasti mitattaessa sopiva valotus auringon valaisemalle alueelle saadaan varjoalueet hyvin tummiksi. Panoraamakuvauksessa tämä ongelma tulee selvemmin esiin, koska hyvin laaja kuvausalue sisältää todennäköisesti suuria valon ja varjon eroja. (PTGui HDR panoramas with PTGui Pro)

HDR-kuvalla (High dynamic range image) kyetään tallentamaan suurempi valon ja varjon vaihteluväli kuin normaalilla kuvalla. HDR-kuvan tarkoitus on siis esittää valot ja varjot aivan kuin ne ovat oikeassakin ympäristössä. (Wikipedia. High dynamic range imaging.) HDR-kuvaa ei suoraan pystytä kuvaamaan kameralla, vaan se on ohjelmallisesti koostettu useasta kuvasta, jotka ovat kuvattu samasta kohteesta usealla eri valotusajalla. Koostetun HDR-kuvan kaikkea kuvainformaatiota ei pystytä tallentamaan tavalliseen kuvatiedostoon, kuten JPG. Tässä vaaditaan tallennusformaattia, joka kykenee tallentamaan 32 bittiä värikanavaa kohden. Tavallinen JPG-kuva kykenee tallentamaan vain 8 bittiä kanavaa kohden. Tähän sopivia tiedostomuotoja ovat esimerkiksi TIFF, OpenEXR (EXR), Radiance (HDR) ja PSD. (PTGui HDR panoramas with PTGui Pro.)

HDR-kuvan esittäminen on ongelmallista. Pelkän kuvan esittäminen tulosteena tai näyttöruudulta ei tuota erikoista lopputulosta. Perinteisillä tavoilla esitetyn HDR-kuvan valon intensiteettiä ei pystytä esittämään koko vaihteluväliltä. Tähän voidaan käyttää myös tone mapping tekniikkaa, jolla muunnellaan valon kirkkautta ja intensiteetin vaihteluväliä supistetaan tavalliseen kuvaan sopivaksi. Joissakin panoraaman esitysohjelmissa, kuten PTVIEWER, HDR-kuvia pystytään esittämään. Lopputuloksena saadaan esitys, jossa valon kirkkaus vaihtelee siirrettäessä katsojassuunta valosta varjoon. Näin suuria kontrasteja sisältävän panoraaman yksityiskohdat eivät huku tummissa varjoissa tai ylivaltuneissa kirkkaissa kohdissa.

HDR-panoraaman kuvaaminen noudattaa samoja ohjeita kuin normaalinkin panoraaman kuvaaminen. Ainoa poikkeus on, että samasta kohdasta täytyy ottaa useampi kuva eri valotuksella. Valotusaikoja muutettaessa täytyisi valotusaikojen noudattaa kuvasarjoissa samaa kaavaa. Jos kuvataan kolmella eri valotuksella, valotusajat voisivat olla esimerkiksi 1/100, 1/25, 1/400 ja niin edelleen. Useimmissa järjestelmäkameroissa on automaattinen valotuksen haarukointi, jolloin kamera

vaihtaa automaattisesti valotusaikaa aina seuraavaa kuvaa varten. (PTGui HDR panoramas with PTGui Pro.)

Koostaminen tehdään aivan samalla tavalla kuin normaalinkin panoraaman koostaminen. Tässä voi kuitenkin valita halutaanko kuvat yhdistää HDR-kuviksi ennen panoraaman muodostamista vai yhdistetäänkö valmiit panoraamat koostamisen jälkeen. Kaikki koosto-ohjelmat eivät kykene käsittelemään HDR-kuvia. Tällöin jokainen eri valotusajan kuvasekvenssi koostetaan erillisenä ja lopullinen HDR-kuva muodostetaan kuvankäsittelyohjelmassa yhdistämällä panoraamat.

5.3 Videopanoraama

Panoraamavalokuvauksen tekniikan yhdistäminen videokuvaan on myöskin täysin mahdollista. Videopanoraaman kuvaamiseen tarvitaan kameran eteen kiinnitettävää peilioptiikkaa, jonka avulla talloidaan videokuva 360 asteen kuvakulmassa. Videokuvasta muodostuu samankaltainen donitsin muotoinen kuva kuin panoraamavalokuvauksen yhdenkuvan tekniikalla. Tämä kuva joko tallennetaan suoraan kameran muistille, tai sen voi lähettää eteenpäin reaaliaikaisena lähetyksenä. 360 asteen videokuvassa katsoja voi siis kääntyä katsomaan toiseen suuntaan samaan aikaan, kun videokuva toistetaan. Etuna tässä on, että samaa videota voidaan katsella lukemattomiin eri suuntiin. (Andrews 2003, 128-130.)



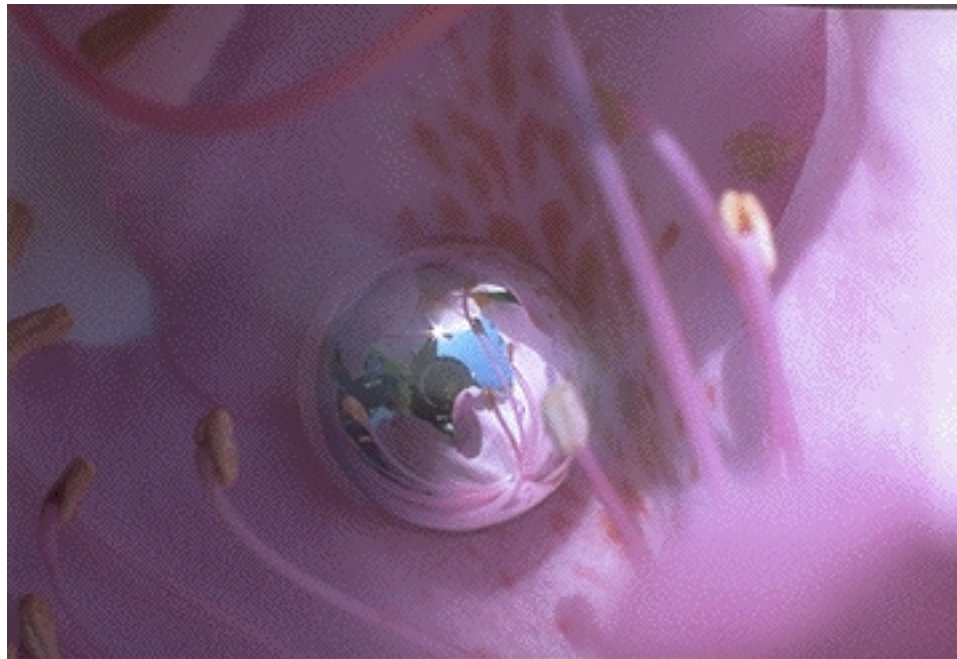
Kuva 34. Videopanoraamakamera. (Andrews 2003, 129)

5.4 Makropanoraama

Makropanoraaman kuvaamisessa käytetään makro-objektiveja, jolla kohde saadaan kuvattua hyvin läheltä. Kuvausperiaatteet ovat samat kuin tavallisenkin panoraaman kuvauksessa. Muutamia poikkeuksia kuitenkin on. Makropanoraamassa kuvien lomittamisen olisi hyvä olla noin 50% tai 60%, jotta kuviin saadaan mahdollisimman monta kuvaa tarkimmalla terävyysalueella. Näistä kaikkia ei välttämättä tarvitse ottaa mukaan lopulliseen panoraamaan. (Amphian 2008.)

Kuvatessa muutamasta kuvasta koostuvaa makropanoraamaa, joka ei ole täyttä 360 astetta, kameraa ei panoroida kuten tavallista panoraamaa kuvatessa. Kun normaalisti kameraa pyöritetään perspektiivikeskipisteen ympäri, makropanoraamaa kuvatessa kameraa siirretään eteenpäin aina seuraavaa kuvaa varten. Jos kameraa panoroitaisiin tavalliseen tapaan, kuvattava kohde tulee olemaan liian kaukana ja näin ollen ulkona terävyysalueesta. (Amphian 2008.)

360 asteen makropanoraaman kuvaaminen ei kuitenkaan ole mahdottomuus. Täyden ympyrän makropanoraamoja voidaan kuvata vaikkapa paikoista joihin kamera ei mahdu. 360 asteen makropanoraaman kuvaamisessa käytetään hyödyksi valoa heijastavaa metallipalloa. Metallipallo asetetaan kuvattavan kohteen keskelle, josta otetaan kuvia joka puolelta. Tässä siis kameraa pyöritetään kuvattavan kohteen eli metallipallon ympäri.



Kuva 35. Metallikuula, jota käytetään makropanoraaman kuvaamisessa. (Dersch, H. 2001)

5.5 Objektielokuva

Objektielokuvat (object movie) liitetään usein panoraamojen kanssa samaan yhteyteen. Objektielokuva on ikään kuin käänteinen panoraama. Kun normaali panoraama kuvataan kääntämällä kameraa, objektielokuvaa tehtäessä kamera pysyy kiinteässä pisteessä ja kuvattava kohde pyörii. (Jacobs 2004, 3). Lisäksi käytettävä esitystekniikka ja esitysohjelmat ovat usein samat kuin panoraamoilla.

Objektielokuvan tekemiseen tarvitaan kameralle kiinteä jalusta ja kuvattavalle objektille paikallaan ympäri pyörivä alusta. Alustaa pyöritetään ja kohteesta otetaan kuva tietyin astevälein samalla tapaa kuin kameraa panoroidaan kuvatessa panoraamaa. Kameran kuvausasetukset noudattavat myöskin samaa periaatetta.

Kuvauksen jälkeen kuvasarja koostetaan yhdeksi kuvaksi. Tässä kuitenkin kuvien on tarkoitus olla selvästi toisistaan erottuvia. Kuvat ovat ainoastaan asemoituna rintarinnan yhdeksi kuvaksi, ja katseluohjelmassa objektielokuvaa käytetään samalla tavalla hiirtä liikuttamalla. Vain muutaman kuvan sisältävään objektielokuvaan saattaa tulla hyvin katkonainen liike. Mitä enemmän kuvia objektielokuvaan kuvaa, sitä sulavampi liike esitykseen saadaan.



Kuva 36. Objektielokuvan kaksi kuvasekvenssiä (Koivisto 2008.)

6 Case: Virtuaalikierrros

Tarkoituksena oli tehdä Lahden keskustan alueesta pienimuotoinen virtuaalikierrros, jossa teemana tulisi olemaan Lahden iltavalaistus. Panoraamat kuvattiin eri päivinä ja eri kellonaikoina tiiviissä aikataulussa. Yhteensä 12 pallopanoraamaa kuvattiin Lahden keskustan alueilta, joissa rakennuksen julkisivut olivat hyvin valaistu. Sää pysytteli kuvauksen aikana samana, joten kokonaisuudesta oli luvassa melko yhtenevä. Suurin ongelma oli talvinen vuodenaika, koska maa oli täynnä loskaa harmaan eri sävyissä. Virtuaalikierrrokseen täytyi saada aihe, jolla huonon sään pystyi peittämään. Siksi teemaksi muodostui Lahden iltavalaistus.

Toisena virtuaaliesittelynä on tehty pienempimuotoisen kolmen panoraaman esitys Lahden Historiallisesta museosta. Nämä ovat kuvattu päiväsaikaan ja sisätiloissa. Kaikkien Lahden iltavalaistuspanoraamojen ja museopanoraamojen kuvaaminen ja kuvien koosto ovat hyvin samanlaista, joten tässä käsiteltävänä on ainoastaan yksi panoraama.

6.1 Lähdekuvien kuvaaminen

Käytössä oli kaikki tarvittavat kuvausvälineet: Canon 300D – digitaalijärjestelmäkamera, 10-20 millimetrin laajakulmaobjektiivi ja 18-55 millimetrin yleiskäyttöinen objektiivi, Manfrotton jalusta ja vesivaaka sekä Panosaurus-panoraamapää.

6.1.1 Pyörimispisteen asemointi

Tärkein asia ennen kuvaamista on mitata ja merkitä jalustan panoraamapäähän kameran oikea paikka. Ennen kameran kiinnittämistä Panosaurus-panoraamapäähän, tarvitsee tietää välimatka kameran pohjasta objektiivin keskipisteeseen. Tämä etäisyys tarvitaan, jotta kamera saadaan asemoitua panoraamapäähän oikeaan pyörimispisteeseen vasen-oikea suunnassa. Tässä voi apuna käyttää paperipalaa, joka asetetaan pystyyn tasaiselle pöydälle kameran eteen. Tämän paperin reunoihin merkitään viivoilla objektiivin ulkoreunojen korkein ja matalin kohta. Objektiivin keskikohdaksi merkitään paperiin näiden kahden viivan keskipiste. Näin ollen etäisyys kameran pohjasta objektiivin keskipisteeseen on paperiin merkityn keskipisteen etäisyys paperin alareunasta.

Paperipala asetetaan panoraamapään päälle, kiinni kameran pidikkeeseen. Tätä paperia apuna käyttäen panoraamapäätä siirretään oikealle tai vasemmalla, kunnes paperiin merkitty objektiivin keskipiste osuu panoraamapähän merkityn keskipisteen kohdalle.

Etu-taka-suuntainen asemointi tehdään vertaamalla etualalla olevia kohteita taka-alalla oleviin kohteisiin. Panoraamapäätä siirretään joko eteen tai taakse päin riippuen muodostuvasta parallaksivirheestä. Pyörimispistettä ei kuitenkaan tarvitse asemoida millin tarkkuudella. Silmämääräiselläkin asemoinnilla saadaan hyvä lopputulos, mikäli kuvauskohde ei ole paria metriä lähempänä.



Kuva 37. Kameran oikea paikka mitataan käyttäen apuna paperilla merkittyä objektiivin keskipisteen paikka (Koivisto 2008.)

6.1.2 Kuvaaminen

Kuvausasetukset

Valotusaika asetettiin sopivaan keskiarvoon pyörimällä ympäri kuvauskohteessa ja mittaamalla tarvittavaa valotusaikaa eri kohteista kameran okulaarissa olevasta mittarista. Ongelmia sopivan valotusajan löytämisessä tuottivat kirkkaat näyteikkunat, jotka osin ylivalottuivat. Valkotasapaino mitattiin jokaisessa kuvauskohteessa lumen pinnasta, jotta värit olisivat mahdollisimman samankaltaiset.

Kuvamäärät

Kuvatessa kamera oli pystyasennossa. Kuvauspaikalla kuvamäärätaulukot jätettiin pois, koska lumisella alueella maa oli tasaista ja osin kiintopisteiden löytäminen oli hankalaa. Sopiva asteväli sekvenssin kuviin arvioitiin okulaarista katsomalla, jotta jokaiseen kuvaan tuli tarpeeksi kiintopisteitä ja kuvien väliin tarpeeksi pääl-

lekkäisyyttä. 18 millimetrin objektiivilla päällekkäisyyttä kuviin asetettiin noin 50%, ja kuvien välinen asteväli oli 20 astetta. 10 millimetrin objektiivilla kuviin asetettiin päällekkäisyyttä myös noin 50%, jolloin asteväli oli 45 astetta.

18 millimetrin objektiivilla kuvarivejä tarvittiin kolme kallistamalla kameraa 0°, -40° ja 40°. 10 millimetrin objektiivilla kuvatessa kallistusta oli kuvarivien välillä 0°, -30° ja 50°. Näiden lisäksi otettiin kuvat vielä kallistamalla kameraa 90° ja -90°. Kuvasekvenssejä ei siis kuvattu aivan suositusten mukaisten kuvamäärätaulukoiden mukaan, vaan ne ovat lähinnä suuntaa antavia. 10 millimetrin objektiivilla olisi riittänyt kaksi kuvariviä 90 ja -90 asteen kallistuksen lisäksi. Kallistamalla kameraa -30°, kameran jalusta tulee mukaan kuvaan. Kallistamalla 50° panoraman huippukohta tulee mukaan kuvaan, jolloin suoraan ylös otettava kuva on tarpeeton.

18 millimetrin objektiivilla yhteen pallopanoraamaan kuvattiin 56 kuvaa kun 10 millimetrin objektiivilla yhteen pallopanoraamaan riitti 26 kuvaa. Päällekkäisyyttä kuvien ja kuvasekvenssien välillä oli siis enemmän kuin tarpeeksi. Näistä ei tietenkään kaikkia kuvia tarvita lopulliseen panoraamaan. Liikaa kuvia on kuitenkin parempi kuin liian vähän.

Kuvaaminen suoraan ylös ja alas

Jokaista panoraamaa varten täytyy ottaa yksi kuva suoraan alas ja ylös päin kohdasta, jossa jalusta seiso. Hämärässä iltavalaistuksessa suoraan alas kuvattavat alueet ovat hyvin ongelmallisia. Nämä ovat ainoat kuvat, jotka täytyy ottaa käsivaralta. Valotus on hyvin pitkä hämärällä kuvatessa, joten kuva tärähtää väkisin. Viimeinen käsivaralta kuvattu kuva jouduttiin kuvaamaan yleensä useaan kertaan, jotta edes yksi onnistuisi.

Liikkuvat kohteet

Ihmisiä oli vähän liikkeellä ilta-aikaan. Suuremman ongelman aiheuttivat autot ja autojen ajovalot. Tässä tilanteessa muutama kuva jouduttiin kuvaamaan useamman kerran, jotta lähdekuviin ei jäisi ainoastaan osittain näkyviä autoja.

Kuvauksen aikana täytyi myös huomioida itse kuvaajan liike. Alueilla, joissa lunta oli maassa, piti huomioida lumeen painautuvat jalanjäljet. Jalustan ympärillä kävellessä lumeen painautuvat jalanjäljet saattavat muuttua. Kuvasekvenssin kuviin saattaa siis tulla erilaisia jalanjälkiä, jotka eivät täsmää toisiinsa koostovaiheessa.

Samoin toinen itse aiheutettu muuttuva kohde on oma varjo. Tässä tilanteessa voidaan kuvat ottaa käyttäen aikalaukaisinta. Tällöin kuvaaja ehtii siirtyä sivuun, jottei heittovarjo tule mukaan kuvaan. Tosin kameran jalusta jättää joka tapauksessa oman varjonsa.

6.2 Tuotanto

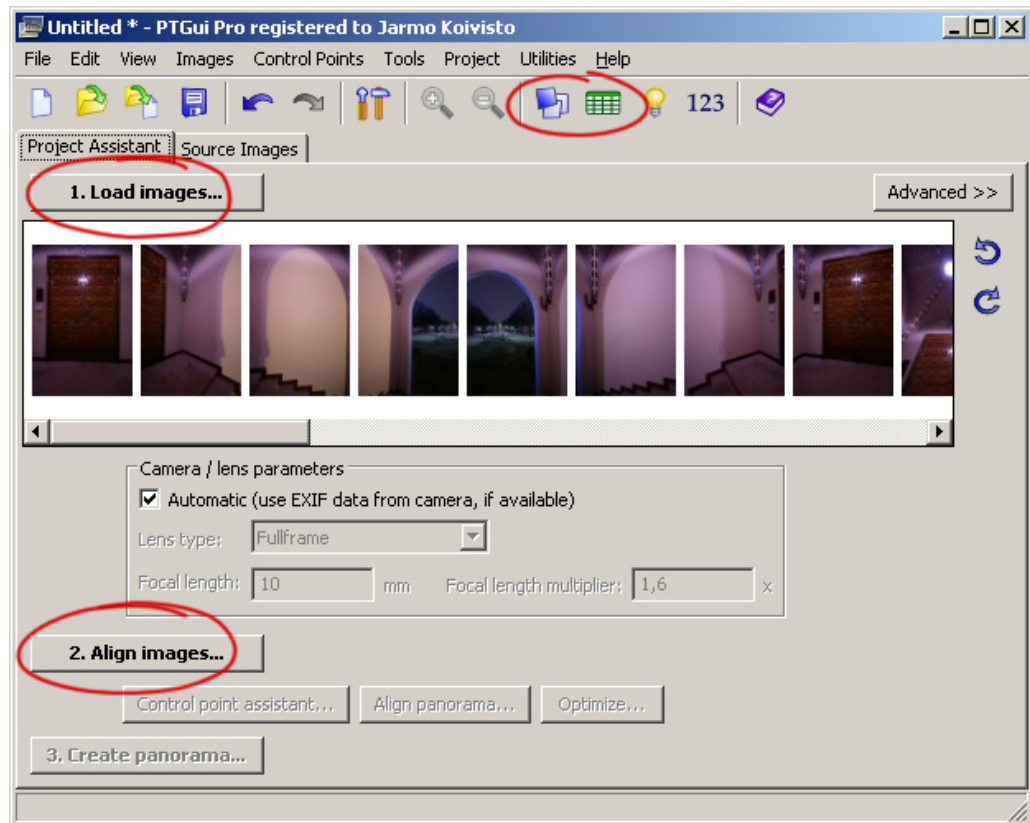
Kuvien koostamisessa käytettiin PTGui PRO versiota 7.5. PTGui on käyttöliittymä Panorama Tools – koosto-ohjelmalle. Panorama Tools on itsessään hyvin monipuolinen ohjelmistokokonaisuus, mutta sen käytettävyys on erittäin hidasta komentoriviltä suoritettavien irtonaisten ohjelmistojen takia.

Tuotantovaiheessa kuvat siirretään kameran muistikortilta tietokoneelle. Kuvien tiedostoformaatti on JPG. Canon 300D – kamerassa kuvat voidaan myös tallentaa RAW-formaatissa, jossa kuvanlaatu on parempi. Kuitenkin PTGui ei tue RAW-tiedostoformaattia. Jos kuvat olisivat RAW-formaatissa, aikaa kuluisi hyvin paljon tiedostoformaattien muuntamiseen.

6.2.1 Koosto

Kuvien lataaminen PTGui:hin

Ensimmäisenä valitaan lähdekuvat ohjelman käyttöön. Kuvat on jo numeroitu automaattisesti kamerassa oikeaan järjestykseen. Kuvien numerointi ei ole välttämätöntä, mutta se nopeuttaa koostoprosessia. Kuvat sisältävät EXIF-datan, jonka avulla PTGui tunnistaa käytetyn objektiivin ja sen ominaisuudet oikein. Toisinaan objektiivin kuvakulma voi muuttua toiseksi, kuin mitä EXIF-datassa on ilmoitettu, ohjelman käytön aikana. Tämä johtuu siitä, että kontrollipisteiden optimointi saavuttaa tarkemman lopputuloksen toisella kuvakulman arvolla.

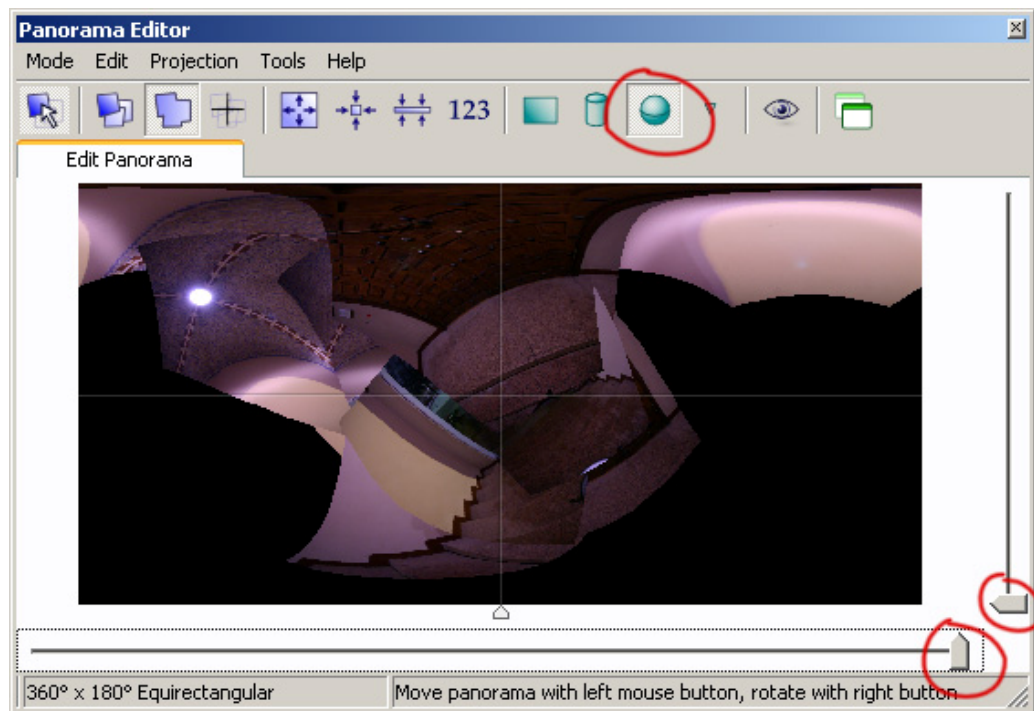


Kuva 38. PTGui:n käyttöliittymä (Koivisto 2008.)

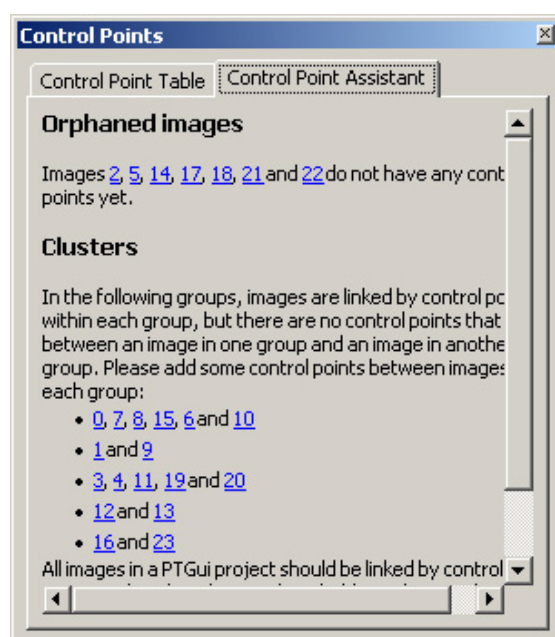
Kontrollipisteiden asemointi

Kuvien lataamisen jälkeen PTGui asemoi kuvat alustavasti. Panoraama Editor – ikkunassa, kuvassa 39, näkyy tämän hetkinen kuvien asemointi. Koska tämä on 360 X 180 asteen pallopanoraama panoraama editorin valikosta valitaan Equirectangular-projektio, ja panoraaman kuvakulma asetetaan vierityspalkeilla täysikoiseksi. Alustava kuvien asemointi ei ole läheskään valmiin näköinen, joten kontrollipisteet täytyy asemoida itse avaamalla Control Points – ikkuna pääikkunan työkaluriviltä. Tämä antaa neuvoja oikean lopputuloksen saamiseksi. Control Points – ikkunassa (kuvassa 40) PTGui ilmoittaa kuvista, jotka vaativat käsin säätämistä. Listattuna ovat kuvat, jotka eivät sisällä kontrollipisteitä lainkaan tai jotka sisältävät niitä liian vähän tarkan lopputuloksen saamiseksi. Lisäksi listassa ovat kuvat, jotka ovat linkitettyinä ryhmäksi ja kuvaryhmät, jotka eivät ole sidoksissa toisiinsa. Kuvan numero on linkki kyseiseen kuvaan, josta aukeaa pääikkunan Control Points – välilehti, kuva 41. Tällä välilehdellä kuvapareille asetetaan kontrollipisteet. Kontrollipisteet asetetaan kuvapareihin klikkaamalla vuorotellen kuvaparien vastaavankaltaisia alueita.

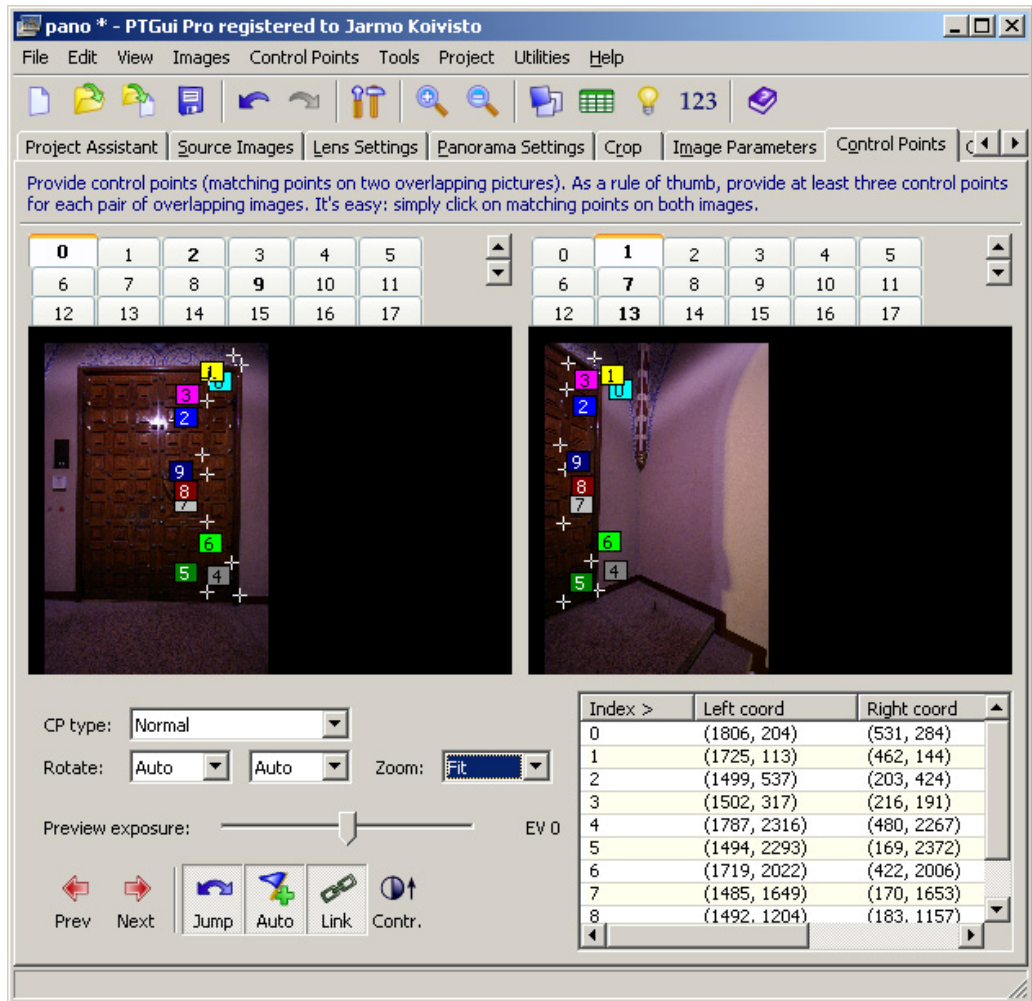
Kontrollipisteitä asetettaessa kannattaa lopputulos tarkistaa välillä Project Assistant – välilehden Optimize-painikkeesta. Tämä toiminto optimoi kontrollipisteiden paikat tarkemmiksi ja asemoi kuvat Panorama Editor – ikkunassa uusien kontrollipisteiden avulla. Optimoinnin tarkkuus ilmoitetaan keskimääräisenä, tarkimpana sekä huonoimpana kontrollipisteparien etäisyyksinä.



Kuva 39. Panorama Editor – ikkuna (Koivisto 2008.)



Kuva 40. Control Points – ikkuna (Koivisto 2008.)



Kuva 41. Pääikkunan Control Points – välilehti (Koivisto 2008.)

Suurimmassa osassa kuvatuista pallopanoraamoista taivas on hyvin yhdenmukainen. Näissä tapauksissa suoraan ylöspäin kuvattua kuvaa ei välttämättä tarvita, joten sen voi poistaa koko projektista. Tämän tyhjän paikan tilalle voi venyttää kuvamateriaalia ympärillä olevista kuvista kontrollipisteparien avulla. Control Points – välilehdelle avataan kaksi vastakkain olevaa kuvaa, jotka ovat palloksi oletetun kuvapinnan eri puolilta, eli 180 asteen etäisyydellä toisistaan. Näiden kahden kuvan välille asetetaan kontrollipistepari suurin piirtein keskelle kauttaaltaan yhdenmukaista taivasta. Tämä venyttää taivasalueen paljaaksi jääneen alueen päälle.

Kun nämä Control Points – ikkunassa ilmoitetut kontrollipisteet on asemoitu, voidaan panoraaman pystylinjat suoristaa lisäämällä Vertical-tyyppisiä kontrollipistepareja. Vertical-tyyppinen kontrollipistepari asetetaan kuvassa olevan pystysuoran linjan, kuten oven karmin eri päihin. Käytettävässä equirectangular-projektiossa ainoastaan pystylinjat ovat suoria ja muut linjat ovat vääristyneet. Jos tähän projektiioon asetetaan Horizontal-tyyppinen kontrollipistepari kohtaan, joka oletetaan

vaakasuuraksi linjaksi, koko panoraama vääristyy.

Vinjetin ja valotusvirheiden korjaaminen

Panorama Editor – ikkunassa panoraaman osakuvien reunat näkyvät tässä vaiheessa vielä tummina. Kun lopullinen kuva koostetaan ja kuvien saumakohdat liu'utetaan toisiinsa, tummentuneet reunat häivytetään samalla. Joissakin tapauksissa tämä ei aina riitä. Tällöin voidaan optimoida kuvien valotusta tasaisemmaksi, jolloin vinjetit häipyvät samalla. Valotuksen optimointi löytyy Exposure / HDR – välilehdeltä.

6.2.2 Jalustan paikan peittäminen ja nimikirjoituksen lisääminen

Jalustan paikan piilottaminen yksinkertaisella peitekuvalla

Tämän esimerkin panoraamassa käsivaralta suoraan alas kuvatun kuvan lisääminen panoraamaan ei onnistunut, koska kuvaustilanteessa kuva oli otettu väärästä kohdasta ja liian korkealta. Tähän kohtaan voidaan lisätä jalustaa peittävä kuva (tripod cap). Tätä kuvaa ei voida lisätä kesken panoraaman kooston, koska silloin myös tämän kuvan reunat häivytettäisiin tarkoituksettomasti itse panoraaman kuvien sekaan. Jalustaa peittävä kuva lisätään kuvankäsittelyohjelmassa, kun koko panoraama on koostettu kuvatiedostoksi.

Kuvankäsittelyohjelmassa valmiiseen panoraamakuvatiedostoon voidaan jalustan paikalle, kuvan alareunaan, maalata musta alue. Tämä näkyy esikatseluohjelmassa mustana ympyränä jalustan paikalla, kun kuva kiedotaan pallon muotoiseksi. Jalustaa ei voida rajata kuvan ulkopuolelle pienentämällä kuvan korkeutta. Kaikki katseluohjelmat käyttävät oletuksena kuvan projektion tunnistamiseen panoraaman kuvasuhdetta, koska se on selkein erottava tekijä ja ohjelmallisesti helposti tunnistettavissa.

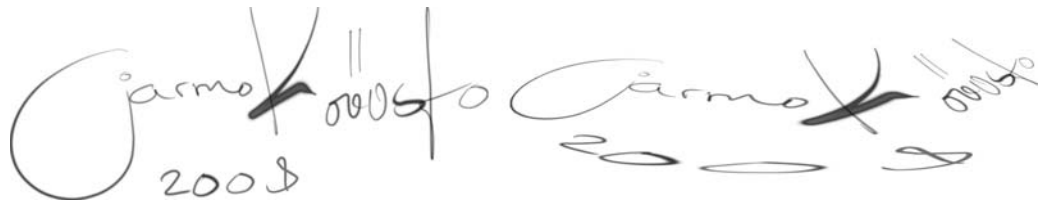


Kuva 42. Panoraamaan on lisätty musta alareuna, joka peittää alleen jalustan (Koivisto 2008.)

Monimutkaisten kuvien lisääminen valmiiseen panoraamaan

Monimutkaisempien kuvien lisääminen ei onnistu ainoastaan lisäämällä kuvaa panoraaman päälle kuvankäsittelyohjelmassa. Tässä tapauksessa kun lopullinen esitettävä kuva kääretään pallon muotoiseksi esitystä varten, myös jälkikäteen lisätty kuva kaareutuu ja samalla menettää oikean muotonsa. Esimerkiksi panoraamaan lisätty nimikirjoitus ei saa kaareutua esitettävän panoraaman mukana, vaan sen täytyy säilyttää muotonsa esityksen aikana.

Ennen kuvan lisäämistä lopulliseen panoraamaan kuva täytyy vääristää samalla kuvaprojektioilla kuin itse panoraama. Tähän ei ole olemassa omaa työkalua, vaan kuva täytyy käsin muuntaa oikeaan projektiioon. Ensin kaikki kuvat kytketään pois päältä Create Panorama – välilehdeltä, jottei niitä lisättäisi lopulliseen kuvaan. Lens Settings – välilehdeltä kameran objektiivin tyyppiä valitaan equirectangular. Tämä ilmaisee, että kaikki kuvat panoraamassa ovat kuvattu kameralla, jonka projektiio on equirectangular. Jos lisättävä kuva on nimikirjoitus, objektiivin polttoväli ilmaisee tässä tilanteessa nimikirjoituksen koon asteina panoraamassa. Kun ladattavan kuvan projektiio ja koko on asetettu, täytyy lopullisen panoraaman projektiotyyppiä valita vielä equirectangular, jotta nimikirjoituksen projektiio on sama kuin panoraamalla. Kuva voidaan tämän jälkeen ladata Source Images – välilehdellä. Kuva asemoidaan automaattisesti keskelle Panorama Editor – ikkunaa, jossa sen voi raahata haluttuun kohtaan tai vaihtoehtoisesti paikka voidaan numeerisesti määrittää Image Parameters – välilehdellä. Vääristetyn nimikirjoituksen voi nyt tallentaa omaan tiedostoonsa, joka edelleen liitetään lopullisen panoraaman päälle.



Kuva 43. Vasemmalla normaali nimi kirjoitus. Oikealla on nimikirjoitus vääristetty asemoimalla kuva equirectangular-projektiossa kuvan keskelle alareunaan (Koivisto 2008.)

7 YHTEENVETO

Panoraaman kuvaus on kehittymässä eteenpäin yhden kuvan tekniikan turvin. Toistaiseksi panoraamakuvaukseen tarkoitettua peilioptiikkaa valmistaa ainoastaan kaksi yritystä. Kuitenkin vielä useasta kuvasta koostettu panoraama on yleisempi tapa kuvata panoraama, koska se on halvempi ratkaisu.

Panoraamoille on olemassa monia eri käyttökohteita, ja etenkin interaktiivisuus tuo perinteiseen panoraamaa uutta eloa. Kuitenkin esitystekniikan puutteellisuus on rajoitteena luovimpien esitysten tekemisessä. Harva esitysohjelma kykenee hienoihin erikoistehosteisiin. Erikoistehosteiden käyttöä rajoittaa sekin että, eri käyttäjiä varten täytyy varautua eri esitystekniikoin, jolloin yhdenmukaisemman toteutuksen saamiseksi hienouksia ei pystytä esittämään halutulla tavalla. Esimerkiksi tällä hetkellä ainoa HDR-kuvia tukeva esitysohjelma on PTViewer. Tässäkin on haittapuolena, että esityksen koko täytyy pysyä suhteellisen pienikokoisena, jotta esitys olisi sulava. Myöskin shockwavella toteutettu Spi-Viewer on tunnetuimpiin esitysohjelmiin verrattuna paljon kehittyneempi ja sisältää monipuolisempia ominaisuuksia, mutta shockwave liitännäissovellus on kuitenkin melko harvalla käyttäjällä asennettuna. Tällä hetkellä Flash-tekniikalla toteutetut esitysohjelmat ovat nousemassa huomion kohteeksi version 9 tuomien ominaisuuksien ansiosta. Lisäksi tämä liitännäissovellus on lähes jokaisen käyttäjän tietokoneella.

LÄHTEET

Painetut lähteet:

Aaland, M. 2003. Shooting Digital: Pro Tips for Taking Great Pictures with Your Digital Camera. USA: Sybex, Inc.

Andrws, P. 2003. 360° Imaging The photographer's panoramic virtual reality manual. Sveitsi: RotoVision SA.

Bamberg, M. 2006. Digital art photography for dummies. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc.

Bodin, B., Frich, A., Lemoine, A., Noël, C., Popovic, S., Simard, P., Thion, L & Vidal, G. 2005. Assembling panoramic photos – A Designer's notebook. Käännös Rodarmor, W. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc.

Jacobs, C. 2004. Interactive panoramas – Techniques for digital panoramic photography. New York: Springer

Lehtinen, H. 2003. Pallopanoraama. Foto 4/2003, 22-23.

Metsämäki, M. 2004. Panoraama – laajaa näkymää etsimässä. Kamera 9/2004, 52-56.

Sadun, E. 2003. Mac digital photography. USA: Sybex, Inc.

Sähköiset lähteet:

Amphian. 2008. Shooting macro panoramas [online] [viitattu: 26.03.2008]. Saatavilla: <http://www.amphian.com/edit/tipsmacropanos.php>

Apple developer connection. 2007. Getting a browser to load QuickTime [online] [viitattu: 15.03.2008] Saatavilla: http://developer.apple.com/documentation/QuickTime/Conceptual/QTScripting_HTML/QTScripting_HTML_Document/chapter_1000_section_3.html

Apple developer connection. 2008. Instructions for Updating websites to include QuickTime content [online] [viitattu: 15.03.2008]. Saatavissa: <http://developer.apple.com/internet/ieembedprep.html>

Bossoms, C. 2006. Ryugasaki Wood Park [online] [viitattu: 19.03.2008]. Saatavissa: <http://www.stereomaker.net/panorama/ana/cherry02.htm>

Douglas, A. 2008. DETERMINING THE LOCATION OF THE ENTRANCE PUPIL. Julkaisussa: The Proper Pivot Point for Panoramic Photography [online]. Iss. 3 [viitattu: 08.03.2008]. Saatavissa: http://doug.kerr.home.att.net/pumpkin/Pivot_Point.pdf

Greenstone, B. VR panorama viewers [online] [viitattu: 15.03.2008]. Saatavilla: <http://www.panomundo.com/panos/viewerinfo.html>

Gregwired Digital. 2008. Setup Information For The Panosaurus [online] [viitattu: 05.02.2008]. Saatavissa: <http://gregwired.com/pano/PanoInstuctions2.pdf>

Kreunen, B. 2000. Image projections. Julkaisussa: Big Ben's panorama tutorial [online] [viitattu: 07.03.2008]. Saatavilla: <http://www.path.unimelb.edu.au/~bernardk/tutorials/360/background/projections.html>

Littlefield, R. 2006. Real Lenses (Thick Lens Model). Julkaisussa: Theory of the "No-Parallax" Point in Panorama Photography [online]. Versio 1.0 [viitattu: 08.03.2008]. Saatavissa: <http://www.janrik.net/PanoPostings/NoParallaxPoint/TheoryOfTheNoParallaxPoint.pdf>

McHugh, S. Photo stitching digital panoramas [online] [viitattu: 16.03.2008]. Saatavissa: <http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/digital-panoramas.htm>

McHugh, S. Panoramic image projections [online] [viitattu: 16.03.2008]. Saatavissa: <http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/image-projections.htm>

McHugh, S. Using photo stitching software [online] [viitattu: 16.03.2008]. Saatavissa: <http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/photo-stitching-software.htm>

Peleg, S. & Ben-Ezra, M. Stereo panorama with a single camera [online] [viitattu: 21.01.2008]. Saatavilla: www.cs.huji.ac.il/~peleg/papers/cvpr99-stereopan.pdf

PTGui Support [online] [viitattu: 06.03.2008]. Saatavilla: <http://www.ptgui.com/support.html>

PTGui HDR panoramas with PTGui Pro [online] [viitattu: 06.03.2008]. Saatavil-

la: <http://www.ptgui.com/hdrtutorial.html>

PTGui, 2007. Help: Projections.

Rigg, J. Types of panoramic images [online]. Panoguide [viitattu 11.03.2008].
Saatavissa: <http://www.panoguide.com/howto/panoramas/types.jsp>

Rigg, J. Controlling depth of field [online]. Panoguide [viitattu 11.03.2008]. Saatavissa: <http://www.panoguide.com/howto/panoramas/hyperfocal.jsp>

Rigg, J. Putting panoramas and objectmovies in a web page [online] [viitattu: 11.03.2008]. Saatavissa: <http://www.panoguide.com/howto/display/web.jsp>

Wikipedia. High dynamic range imaging [online] [viitattu: 16.03.2008]. Saatavilla: http://en.wikipedia.org/wiki/High_dynamic_range_imaging

Kuvalähteet:

Kuva 30: Adobe. [online] [viitattu: 20.03.2008]. Saatavissa: http://www.adobe.com/products/player_census/flashplayer/

Kuvat 6-8, 10, 13, 14, 31 ja 34: Andrws, P. 2003. 360° Imaging The photographer's panoramic virtual reality manual. Sveitsi: RotoVision SA.

Kuva 5 ja 15: Bodin, B., Frich, A., Lemoine, A., Noël, C., Popovic, S., Simard, P., Thion, L & Vidal, G. 2005. Assembling panoramic photos – A Designer's notebook. Käännös Rodarmor, W. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc.

Kuva 35: Dersch, H. 2001. Macro panoramas. [online] [viitattu: 14.01.2008] Saatavilla: <http://www.all-in-one.ee/~dersch/html/MicrosNoQT.html>

Kuva 12: Douglas, A. 2008. DETERMINING THE LOCATION OF THE ENTRANCE PUPIL. Julkaisussa: The Proper Pivot Point for Panoramic Photography [online]. Iss. 3 [viitattu: 08.03.2008]. Saatavissa: http://doug.kerr.home.att.net/pumpkin/Pivot_Point.pdf

Kuvat 9, 17-29 ja 36-43: Koivisto, Jarmo. 2008.

Kuva 11: Littlefield, R. 2006. Real Lenses (Thick Lens Model). Julkaisussa: Theory of the "No-Parallax" Point in Panorama Photography [online]. Versio 1.0 [viitattu: 08.03.2008]. Saatavissa: <http://www.janrik.net/PanoPostings/NoParallaxPoint/TheoryOfTheNoParallaxPoint.pdf>

Kuva 32 ja 33: Peleg, S. & Ben-Ezra, M. Stereo panorama with a single camera [online] [viitattu: 21.01.2008]. Saatavilla:
www.cs.huji.ac.il/~peleg/papers/cvpr99-stereopan.pdf

Kuva 16: Rigg, J. Lens calculator [online]. Panoguide [viitattu 11.03.2008]. Saatavissa: http://www.panoguide.com/howto/panoramas/lens_calculator.jsp

Kuvat 1-4: Rigg, J. Types of panoramic images [online]. Panoguide [viitattu 11.03.2008]. Saatavissa: <http://www.panoguide.com/howto/panoramas/types.jsp>

Taulukkolähteet:

Taulukot 1-3: Andrws, P. 2003. 360° Imaging The photographer's panoramic virtual reality manual. Sveitsi: RotoVision SA.

Taulukko 4: Koivisto, Jarmo. 2008.

Taulukko 5: Kreunen, B. 2000. Image projections. Julkaisussa: Big Ben's panorama tutorial [online] [viitattu: 07.03.2008]. Saatavilla:
<http://www.path.unimelb.edu.au/~bernardk/tutorials/360/background/projections.html>

Esimerkkilähteet:

Esimerkki 1: Apple developer connection. 2008. Instructions for Updating websites to include QuickTime content [online] [viitattu: 15.03.2008]. Saatavissa: <http://developer.apple.com/internet/ieembedprep.html>

Esimerkki 3: Koivisto, Jarmo. 2008.

Esimerkki 2: RealViz Forum. 2006. Need clarity on ds – Pure Player [online] [viitattu: 16.03.2008]. Saatavilla: http://forum.realviz.com/realviz/Discussion-ST/need-pure-player-sujet_3220_1.htm

LIITTEET

Liite-CD:

- Opinnäytetyö pdf-muodossa
- Suomenkielinen tiivistelmä rtf-muodossa
- Englanninkielinen abstrakti rtf-muodossa
- Panoraamaesitys, Lahden iltavalaistus
- HDR-stereo Panoraamaesitys, Lahden historiallinen museo
- Objektielokuva, Kamera

Kirjan liitteet:

- Lahden iltavalaistus panoraamaesityksen kuvia
- Lahden Historiallisen museon panoraamakuvia







