

Eetu Järvinen

# 360-panoraamat osana virtuaalikampusta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tieto- ja viestintäteknikan tutkinto-ohjelma

Insinööriytyö

9.4.2018

Tekijä Otsikko	Eetu Järvinen 360-panoraamat osana virtuaalikampusta
Sivumäärä Aika	34 sivua 9.4.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Tieto- ja viestintätekniikka
Ammatillinen pääaine	Mediatekniikka
Ohjaaja	Lehtori Toni Spännäri
<p>Insinööriyössä tutkittiin 360-panoraamojen kuvaamista järjestelmäkameralla ja automatisoidulla panopäällä sekä kuvausprosessin optimoimista. Insinööriyön pääasiallinen tavoite oli kehittää 360-teknologiaa hyödyntävä virtuaalikierros osaksi pääkaupunkiseudulla toimivan ammattikorkeakoulun virtuaalikampushanketta. Virtuaalikierroksen ja 360-teknologian on tarkoitus tuoda visuaalinen lähestymistapa osaksi virtuaalikampusta. Virtuaalikierrosta voidaan käyttää osana opetusta ja markkinointia.</p> <p>Vaatuksena 360-kuville oli tarvittava tarkkuus ja valoisuus ja kuvissa piti olla ihmisiä suorittamassa tehtäviään. Kuvauskäytänteiden määrittelemiseksi järjestettiin useita testejä ja kokeiluja. Näiden testien tulosten perusteella tultiin tulokseen, että kuvattaessa 360-kuvia järjestelmäkameralla kuvien tapahtumat täytyy lavastaa, jotta kuvassa oleva ihmisten liike saadaan pysäytettyä ja kuva on silti tarpeeksi valoisa.</p> <p>Lisäksi insinööriyössä suoritettiin tilojen 360-kuvaukset ja kuvien jälkikäsittelyt, ja kuvista muodostettiin virtuaalikierros. Virtuaalikierrokselle muokattiin yksilöllinen ulkoasu. Työvaiheet dokumentoitiin, ja niistä luotiin myös työohjeet, jotta virtuaalikierroksen päivittäminen olisi tulevaisuudessa mahdollista.</p> <p>Insinööriyön tavoitteet onnistuttiin saavuttamaan, ja siinä syntyneitä tietoja voidaan käyttää jatkokehityksen perustana.</p>	
Avainsanat	360, virtuaalikierros, panoraama

Author Title	Eetu Järvinen 360 panoramas as part of Virtual campus
Number of Pages Date	34 pages 9 April 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information and Communication Technology
Professional Major	Media Technology
Instructor	Toni Spännäri, Senior Lecturer
<p>This thesis examined the process of shooting 360-degree panoramas using a digital single-lens reflex camera and automated panohead. The main goal of the final year project was to develop a 360 virtual tour for the use of university of applied sciences Virtual campus project based in Helsinki. The virtual tour is designed to give more visual and immersive user experience when using Virtual campus.</p> <p>The requirements for the 360-degree pictures were adequate sharpness and brightness. It was also essential to have people perform different kind of tasks in the setting. To define the shooting process within these parameters, several different tests were performed. The results showed that the shootings had to be staged to achieve pictures as desired.</p> <p>In addition to tests, shooting, stitching and editing of 360 pictures, and creating of virtual tour was part of the final year project. Virtual tours appearance was edited to fit university of applied sciences brand. Project was documented, so updating virtual tour would be possible in the future.</p> <p>Goals of the project were achieved and information gained in the project can be used in future development.</p>	
Keywords	360, virtual tour, panorama

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	360-panoraamakuvauksen perusteet	1
2.1	Kuvauslaitteet	4
2.2	360-kuvan käsittely	8
2.3	360-kuvien toistaminen ja julkaisu	9
3	Virtuaalikierrokset	11
4	Virtuaalikampuksen kehitystyö	12
4.1	Parallaksipisteen määrittäminen	13
4.2	HDR-panoraamat	16
4.3	Panoraamakuvauksen ja Virtuaalikampus	18
5	Yhteenveto	29
	Lähteet	31

## 1 Johdanto

360-teknologia ja virtuaalitodellisuus ovat nousseet viime vuosina suuren yleisön saataville teknologian kehittyessä ja hintojen laskiessa. Erilaisia 360-kameroita ja virtuaalitodellisuuden sovelluksia tulee markkinoille jatkuvasti. Myös perinteiset panoraamat ovat siirtyneet virtuaalitodellisuuteen 360-kuvina.

Useista 360-kuvista voidaan muodostaa interaktiivisia virtuaalisia kierroksia. Myös virtuaalikierrosten suosio on lisääntynyt, ja niille on löytynyt useita käyttötarkoituksia. Virtuaalikierroksia voidaan hyödyntää muun muassa kiinteistöalalla asuntojen esittelyihin, historiallisten paikkojen dokumentointiin, museoiden näyttelyiden digitalisoimiseen ja kauppakeskuksen paikkojen opastukseen.

Insinöörityön tavoite oli kehittää Metropolia Ammattikorkeakoulun virtuaalikampushankkeeseen 360-teknologiaa hyödyntävä virtuaalikierros. Virtuaalikierroksen on tarkoitus lisätä visuaalinen lähestymistapa Metropolian virtuaalikampuskokonaisuuteen. 360-teknologian hyödyntäen pystytään tarjoamaan käyttäjälle immerstiivinen käyttökokemus, jonka on näin tarkoitus tukea virtuaalisia opiskelutapoja. Virtuaalikierrosta on tarkoitus hyödyntää myös Metropolia Ammattikorkeakoulun markkinoinnissa.

Insinöörityössä perehdyttiin korkealaatuisten 360-panoraamojen kuvausprosessin optimointiin. Tarkoituksena oli tuotteistaa 360-teknologiaa hyödyntävät sisätilojen panoraamakuvat. Tätä varten tehtiin useita testejä järjestelmäkameralla 360-kuvaukseen liittyen.

Insinöörityöraportissa perehdytään aluksi keskeisiin käsitteisiin ja ilmiöihin 360-kuvaukseen liittyen. Raportin toisella puoliskolla keskitytään selostamaan insinöörityön kulkua ja siihen liittyvää teoriaa.

## 2 360-panoraamakuvauksen perusteet

Digitaalinen valokuvaus ja virtuaalitodellisuuden kehitys ovat mahdollistaneet panoraamakuvien siirtymisen virtuaalitodellisuuteen. Näitä panoraamakuvia voidaan kutsua myös 360-valokuviksi tai 360-panoraamoiksi. Perinteisistä panoraamakuvista 360-panoraamat eroavat siten, että ne tuovat katsojan tarkasteltavaksi koko ympäristön, jossa

kamera on ollut. Yleisesti voidaan sanoa, että perinteiset panoraamat ovat rajoittuneempia kuin 360-panoraamat.

Käytännössä 360-panoraamat muodostetaan samalla tavalla kuin perinteisetkin panoraamat. Samasta paikasta otetaan tarpeeksi monta kuvaa, jotka liitetään yhteen. Kuvat voidaan liittää jälkikäteen panoraamaksi, mutta on myös olemassa ratkaisuja, joilla saadaan jo kuvaushetkellä valmis 360-kuva.

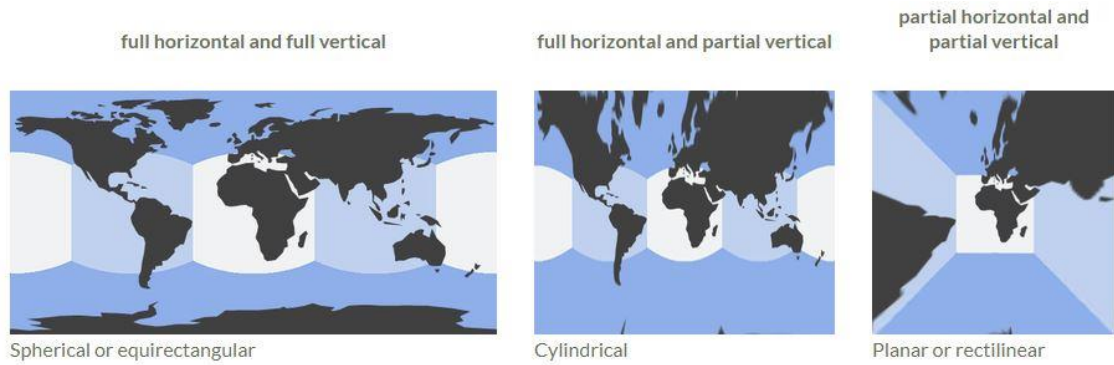
Panoraamoille on olemassa kolme pääasiallista esitystapaa. Nämä esitystavat eroavat toisistaan siinä, kuinka hyvin ne kattavat kuvan horisontaalisesti ja vertikaalisesti 360-projektiossa. 360-projektiossa katsoja on kolmiulotteisen pallon sisällä keskipisteessä, ja panoraamakuva heijastetaan pallon sisäreunoille. Kaikilla esitystavoilla on omat heikkoudet ja vahvuudet. Mikään esitystapa ei anna täydellistä kuvaa todellisuudesta. [1.]

*Tasainen, suora tai osittainen* esitystapa on useimmille tuttu panoraaman tyyppi. Sitä on paljon käytetty esimerkiksi maisemakuvauksissa. Se on myös hyvä esitystapa panoraamoihin, jossa esitellään arkkitehtuuria, sillä se on ainut esitystapa, jossa kuvatut suorat linjat pysyvät suorina ilman vääristymiä. Tämä esitystapa kattaa vain osittain 360-pallon horisontaalisesti ja vertikaalisesti.

*Sylinterimäinen* panoraama kattaa 360-astetta horisontaalisesti, mutta vain osittain vertikaalisesti: kuvan ylä- ja alaosaan jää tyhjät aukot. Tämä voi olla ongelmallista, jos katsojan näkökenttää ei ole näiltä kohdin rajoitettu 360-ympäristössä. Sylinterimäisessä panoraamassa vertikaaliset suorat linjat pysyvät, mutta horisontaalisesti vain horisontin linja on suora. Muut horisontaaliset suorat linjat esitetään kaarimaisena.

*Pallomainen tai tasavälinen lieriöprojektiio* on näistä kolmesta paras vaihtoehto, kun halutaan esittää 360-panoraamoja. Se kattaa kuvan projektion kokonaan niin horisontaalisesti kuin vertikaalisestikin. Suorat linjat käyttäytyvät pallomaisessa esitystavassa samalla tavalla kuin sylinterimäisessä tavassa. [1; 2; 3.]

Kuvassa 1 on havainnollistettu näiden kolmen esitystavan eroja maapallon kartan avulla.

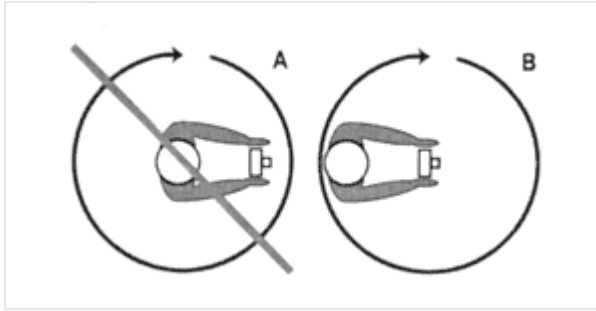


Kuva 1. Panoraaman yleisimmät esitystavat. Vasemmalta oikealle tasavälinen lieriöprojektiio, sylinterimäinen projektiio ja tasainen projektiio. [4.]

Näiden yleisimpien esitystapojen lisäksi panoraamoille on myös useita muita esitystapoja, joita käytetään jossain tietyssä käyttötarkoituksessa. Yksi tällainen käyttötapa voi olla, kun halutaan esittää panoraama taiteellisemmin. Pikkuplaneetta-esityksessä panoraama katsotaan ikään kuin kalansilmäobjektiivin läpi. Peilipallo-esitystavassa panoraama on kiedottu kolmiulotteisen pallon ympärille, ja tästä syntyvää efektiä voisi kuvailla taas kristallipallomaiseksi. [3.]

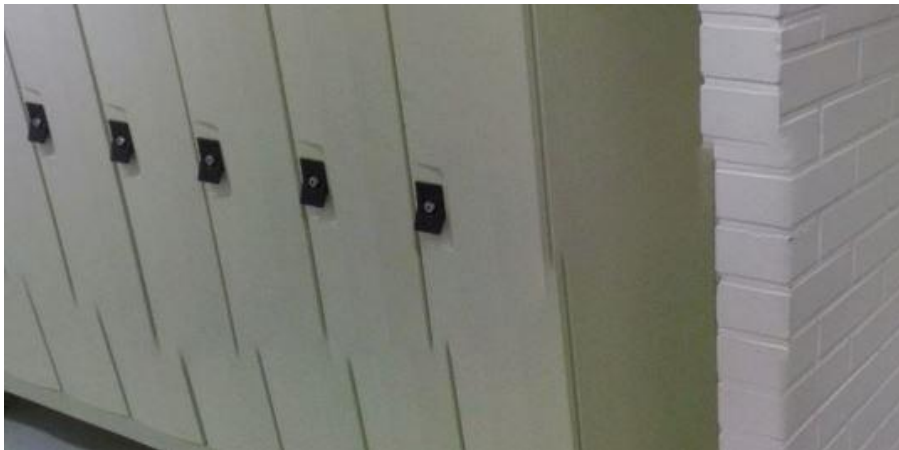
Kuten mitä tahansa kuvia, myös 360-panoraamoja voi esittää stereoskooppisesti. Stereoskooppinen kuva saadaan aikaiseksi ottamalla samanaikaisesti kaksi kuvaa, jotka ovat hieman erillään toisistaan, samaan tapaan kuin ihmisen silmät. Tämä luo katsojalle kuvaan kolmiulotteisen vaikutelman. Stereoskooppisia 360-kuvia on paras tarkastella VR-lasien (virtual reality, VR) avulla. [5.]

Kuvia ottaessa on tärkeää, että kameran ja linssin ”nodal point”, eli keskipiste, ei vaihdu kuvien välillä. Jos piste vaihtuu, syntyy lopulliseen 360-kuvaan parallaksi-ilmiö. Kameran pitää siis pyöriä oman akselinsa ympäri, jotta panoraamaan ei tule parallaksivirheitä [kuva 2]. Nodal pointia kutsutaan myös NPP:ksi; lyhenne tulee sanoista No Parallax Point. [6.]



Kuva 2. A-kohdan kuvaustavalla panoraamaan syntyy parallaksivirheitä, kun taas B-kohdan tavalla ei esiinny parallaksi-ilmiötä [7].

Parallaksivirheet näkyvät panoraamassa kuvien yhdistämiskohdissa joko ”haamukoh-tina” tai eri kuvien yksityiskohdat eivät kohtaa. Tämän voi huomata kuvasta 3, jossa kaappien ovet ovat vääristyneet.



Kuva 3. Esimerkki parallaksivirheen vaikutuksista.

## 2.1 Kuvauslaitteet

### 360-kuvaus puhelimella

Yksinkertaisin tapa tehdä 360-panoraama on ottaa kuvat älypuhelimella. 360-kuvat otetaan erillisen sovelluksen avulla, joka osoittaa kuvaajalle seuraavan kohdan, joka kuvataan. Kun kaikki kuvat on otettu, sovellus yhdistää kuvat automaattisesti valmiiksi panoraamaksi. [8.]



Erilaisia 360-panoraamakuvaukseen tarkoitettuja sovellusvaihtoehtoja on useita, niin Android-, kuin iOS-puhelimillekin. Kummankin alustan 360-sovelluksissa on kuitenkin sama toimintalogiikka, joka luvun alussa esiteltiin. Ehkäpä suosituin sovellus 360-panoraamojen ottamiseen on Googlen Street View -sovellus. Street View on yksinkertainen käyttää, ja sillä voi halutessaan myös julkaista ottamansa kuvat. Otetut kuvat tallentuvat JPEG-kuvina puhelimen muistiin, joten Street View ei aseta minkäänlaisia esteitä kuvien käytölle muissa ympäristöissä. Useat puhelinvalmistajat, kuten Apple, Google ja Samsung, ovat myös valmiiksi integroineet 360-kuvauksen omiin kamerasovelluksiinsa. [8.]

360-panoraamojen kuvaus älypuhelimella on nopeaa ja vaivatonta. Esimerkiksi Street View -sovelluksessa ei ole minkäänlaisia asetuksia kuvien säätämiseksi. Tämä tosin tarkoittaa sitä, että kuvaajalle jää hyvin vähän muokkausmahdollisuuksia. Käytännössä jälkeensä tapahtuva kuvankäsittely on ainut vaihtoehto, jos ei ole tyytyväinen sovelluksen automaattisesti yhdistettyyn kuvaan.

Lähes jokaisella on tarvittava älypuhelin 360-panoraamojen kuvaamiseen, ja myös Googlen Street View -sovellus on ilmainen. Helppoutensa lisäksi 360-panoraamojen kuvaaminen älypuhelimella on siis myös halpa tapa tutustua 360-kuvien maailmaan.

### 360-kamerat

Viime vuosina markkinoille on tullut useita pelkästään 360-kuvaukseen tarkoitettuja kameroita. Niitä on useista eri hintaluokista aina muutaman sadan euron hintaisista kuluttajatasen laitteista ammattilaisten käyttöön tarkoitettuihin kameroihin. 360-kamerat voidaan jakaa kahdentyyppisiin kamerajärjestelmiin:

- kamerat, joissa on kaksi linssiä
- kamerat, joissa on useampia linssijä, tai kamerajärjestelmä muodostuu useasta kamerasta.

Edullisemmissä 360-kameroissa on useimmiten vain kaksi linssiä. Niiden hinnat lähtevät noin 200 eurosta ylöspäin. Esimerkki tällaisesta kamerasta on Ricoh Theta S tai Samsung Gear 360 [kuva 4]. Näiden kameroiden etu on, että usein ne yhdistävät kuvat 360-panoraamaksi heti kuvaushetkellä, mutta niiden resoluutio on usein turhan pieni laadukkaana 360-kuvan aikaansaamiseksi. Samsung Gear 360:n (2017) kahden linssin yhdistetyn kuvan resoluutio on 5472 x 2736 pikseliä, joka on turhan vähän 360-kuvissa [9]. Jois-

tain halvemmista 360-kameroista saa kuvat myös erillisinä, jolloin kuvien yhteen liittämisen voi tehdä jälkikäteen erillisellä ohjelmalla. Kalliimmissa kameroissa taas on useampia linsskejä, jolloin saadaan riittävän korkea resoluutio, mutta se taas tuo kuviin helposti parallaxvirheitä. Myös kahden linssin järjestelmissä kuvien saumakohta jää helposti sotkuiseksi, epätarkaksi tai jopa vääristyneeksi. 360-kamerat ovat kuitenkin välttämättömiä 360-videoiden kuvauksessa, sillä tällä hetkellä ne ovat paras keino toteuttaa 360-videoita.



Kuva 4. Kaksi erilaista 360-kamera järjestelmää, vasemmalla Samsung Gear 360 (2017) ja oikealla GoPro Omni [10; 11].

Ammattimaiseen käyttöön suunnattujen 360-kameroiden hinnat lähtevät noin 2 000 eurosta ylöspäin. Kesällä 2015 esitellyn Nokia Ozo -kameran julkaisuhinta oli 60 000 dollaria. Kameran kohdeyleisö oli suuremmat 360- ja VR-tuotannot, ja Disney olikin yksi ensimmäisiä yhtiöitä, jotka ottivat Ozon käyttöönsä. Ominaisuuksiltaan kamerassa oli kaikki mahdollinen, mitä 360 kameralta voi toivoa, spatiaalisen äänen tallentamisesta 360-suoratoistoon. Syksyllä 2017 Nokia ilmoitti lopettavansa Ozon kehityksen ja myynnin. Ozon hintaa oli alennettu reilusti useamman kerran, mutta ilmeisesti tästäkään huolimatta se ei menestynyt tarpeeksi kaupallisesti. [12.]

Harvinaisempia 360-kameroiden joukossa ovat kamerat, jotka ovat erikoistuneet 360-stillkuviin 360-videon sijaan. Yksi tällainen kamera on saksalaisen Professional360 GmbH:n Panono 360 -kamera. Panono 360 ei ota ollenkaan videokuvaa, vaan pelkäänsä 360-stillkuvia. Kamerassa on 36 linssiä ja valmiin 360-kuvan resoluutioksi luvataan 16K x 8K pikseliä. Kameran linssien kuvat yhdistetään älypuhelimien sovelluksella, ja

valmiin 360-panoraaman voi heti julkaista yhtiön kehittämässä pilvipalvelussa. Vaihtoehtoisesti kuvat voi myös yhdistää itse jälkikäteen haluamallaan ohjelmistolla. Panono 360:n hinta on noin 2 000 euroa. [13.]

### 360-kuvaus järjestelmäkameralla

Nykyisellä teknologialla paras lopputulos 360-panoraamoihin saadaan järjestelmäkameralla otetuilla kuvilla. Tämä on työläin tapa ottaa 360-kuvia, vaikka kuvat otetaan samalla periaatteella kuin älypuhelimella otettaessa. Järjestelmäkamera on usein myös kallein menetelmä 360-panoraamojen kuvaamiseen (ylemmän hintaluokan 360-kamerat ovat hintavampia). Järjestelmäkameralla kuvatessa tarvitaan lisälaitteita laadukkaan 360-kuvan aikaan saamiseksi, ja tästä muodostuu korkeampi hinta. Otettaessa 360-panoraamoja järjestelmäkameralla tarvitaan erillinen panopää [kuva 5], johon kamera asennetaan. Panopää pitää huolen, ettei kamera liiku kuvien välillä, ja se pitää linssin nodaalipisteen samassa kohdassa kaikissa kuvissa. Panopää voi olla mekaaninen laite, jolloin kuvaaja asemoi kameran suunnan joka kuvan välissä. Kehittyneemmät panopäät ovat automatisoituja, jolloin panopää suuntaa kameran itsestään seuraavaan kuvauskohtaan. Järjestelmäkameralla otetut kuvat täytyy yhdistää 360-panoraamaksi jälkikäteen siihen tarkoitettulla ohjelmistolla. [14.]



Kuva 5. Järjestelmäkamera kiinnitetynä GigaPan EPIC Pro -panopäähän [15].

Käytettäessä järjestelmäkameraa 360-kuvaamiseen täytyy huomioida kameran ominaisuudet ja asetukset sekä objektiivin ominaisuudet. Siinä missä käytettävyydeltään yksinkertaisen 360-kameran (esimerkiksi Ricoh Theta S) voi antaa kenelle tahansa ja hän saa otettua onnistuneen 360-kuvan, vaatii 360-kuvien tuottaminen järjestelmäkameralla perehtymistä järjestelmäkameralla kuvaukseen.

Näistä kolmesta vaihtoehdosta järjestelmäkameralla otetut 360-panoraamat ovat laadukkaimpia, mutta myös aikaa vievin tapa. Vaikka järjestelmäkameralla kuvaaminen on työläin ja yksi kalleimmista menetelmistä, sen kyky tuottaa hyvin korkearesoluutioisia 360-panoraamoja ilman parallaksiongelmia on ylivoimainen muihin vaihtoehtoihin nähden. Toki menetelmä täytyy valita aina tilanteen mukaan. Puhelimella nopeasti otettu 360-kuva voi olla aivan riittävä, jos kuvan käyttötarkoitus on mietitty sen mukaan.

## 2.2 360-kuvan käsittely

Valmiin 360-kuvan käsittely onnistuu kuten minkä tahansa muunkin digitaalisen valokuvan. Jos kuvaus on kuitenkin toteutettu esimerkiksi järjestelmäkameralla, tarvitsee otetut kuvat parsia yhdeksi 360-panoraamaksi. Markkinoilla on useita kuvien yhdistämisen mahdollistavia ohjelmia. Yleisimmät 360-kuvien yhdistämiseen käytetyt ohjelmat ovat

- Kolor Autopano Giga
- PTGui
- Hugin
- Adobe Photoshop.

Autopano ja PTGui ovat kaupallisia ohjelmistoja, kun taas Hugin perustuu avoimeen lähdekoodiin. Nämä ohjelmistot on tarkoitettu panoraamakuvien parsimiseen, mutta myös Photoshop kykenee panoraamojen ja 360-panoraamojen luontiin.

Parsimisprosessin luonteen määrittelee hyvin pitkälti kuvauksiin käytetty laitteisto. Kalansilmäobjektiivilla kuvattu panoraama on huomattavasti nopeampi parsia kuin laajakuvaobjektiivilla kuvattua panoraamaa, joka on zoomattu maksimiinsa ja jolla on hyvin suuri zoomausalue. Kalansilmäobjektiivilla voi riittää neljä kuvaa koko ympäristön tallentamiseen. Objektiivin, joka on zoomattu maksimiinsa, tarvitsee huomattavasti enemmän kuvia saman näkökentän saavuttamiseksi. Gigapikselipanoraamoja kuvatessa kyse voi olla jopa kymmenistä tuhansista yksittäisistä kuvista [16]. Mitä enemmän panoraamassa on

kuvia, sitä kauemmin sen yhdistäminen kestää ja sitä enemmän vaaditaan tehoa työasemalta, jolla parsiminen suoritetaan. Myös kuvien laatu määrittelee pitkälti yhdistämisprosessin kestoa. RAW-kuvien yhdistäminen panoraamaksi kestää huomattavasti kauemmin kuin JPEG-tiedostomuodossa kuvattujen.

Yleisesti voidaan sanoa, että panoraamakuvien yhteenliittäminen on raskas prosessi laitteistolle. Työasemalta vaaditaan prosessointi-, muisti- ja grafiikanpiirtotehoa. Kokemusten perusteella Autopano Giga käyttää huomattavan määrän muistia kuvien yhteenliittämisen prosessin aikana. Taulukkoon 1 on kirjattu Gigan vähimmäis- ja suositellut laitteistovaatimukset.

Taulukko 1. Kolor Autopano Giga -ohjelmiston laitteistovaatimukset [17].

	<b>Vähimmäis-laitteistovaatimukset</b>	<b>Suosittelut laitteistovaatimukset</b>
Käyttöjärjestelmä	Microsoft Windows 7, 8, 10. Apple Mac OS X Mavericks, Yosemite ja El Capitan. Linux Ubuntu 16.04	
Proessori	1 GHz	2 GHz tai enemmän
RAM-muisti	2 GB	4 GB tai enemmän
Näytönohjain	Moderni grafiikkakortti 512 MB:n muistilla	Moderni grafiikkakortti 2 GB:n muistilla
Näytön tarkkuus	1024x768	

### 2.3 360-kuvien toistaminen ja julkaisu

Valmista 360-panoraamaa voi tarkastella kuten mitä tahansa digitaalista valokuvaa. Tasavälisessä lieriöprojektiossa esitetty kuva ei anna välttämättä katsojalle oikeanlaista vaikutelmaa, jos sitä katsotaan työaseman omalla valokuvienkatselusovelluksella. Tämän lisäksi kuvasta puuttuu interaktiivisuus. Käytännössä mahdollisesti suurikin aika- ja työpanos, joka on käytetty kuvan luomiseen, menee hukkaan. Parhaan hyödyn 360-kuvista saa, jos käyttää oikeanlaista sovellusta niiden katseluun. Nämä sovellukset osaavat esittää tasavälisen lieriöprojektiokuvan pallomaisena, jolloin kuva muodostetaan katsojan ympärille. Katsoja on ikään kuin kuvan keskipisteessä.

360-kuvien toistamiseen on olemassa useita erilaisia sovellusvaihtoehtoja aina tietokoneelle asennetuista toistimista Facebook-viestissä julkaisuun. Oikean sovellusratkaisun valinnassa täytyy miettiä, haluaako kuvansa julkaista vai haluaako pitää sen vain henkilökohtaisessa käytössä.

Jos kuviaan haluaa tarkastella vain omalla työasemallaan paikallisesti, on silloin hyvä ratkaisu asentaa tietokoneelleen jokin VR-toistin, kuten GoPro VR Player tai Whirligig Player. VR-toistimia on useita muitakin, mutta niiden toiminnot ovat pääosin samat. 360-kuva avataan toistimessa, jolloin sitä voi tarkastella, pyöritellä ja zoomailla haluamallaan tavalla. Useimmat toistimet tukevat myös virtuaalilaseilla katselua. VR-toistimet tukevat myös 360-videoita.

360-kuvien julkaisuun on internetissä tarjolla lukuisia erilaisia palveluita. Jos kuvansa haluaa julkaista nopeasti ja vaivattomasti, on Facebook tähän hyvä vaihtoehto. Käytännössä 360-kuvan julkaisu Facebookissa ei eroa tavallisen kuvan julkaisusta millään tavalla. Julkaistu 360-kuva näkyy välittömästi pallomaisena Facebookissa. Facebookin mobiilisovelluksella voi myös julkaista älypuhelimella kuvattuja 360-kuvia. [18; 19.]

Facebookin lisäksi useat muutkin palvelut tarjoavat 360-panoraama kuvien ylläpitoa verkossa. Esimerkiksi Flickr tukee 360-kuvia [20]. Jos 360-kuvia haluaa julkaista ammattimaisemmin, voi kuvansa lisensoida. 360Cities on palvelu, jossa 360-kuvat voi julkaista ja lisensoida. Palvelussa on neljä eri tilitasoa erilaisilla ominaisuuksilla ilmaisesta Basic-tilistä Company-tiliin. [21.]

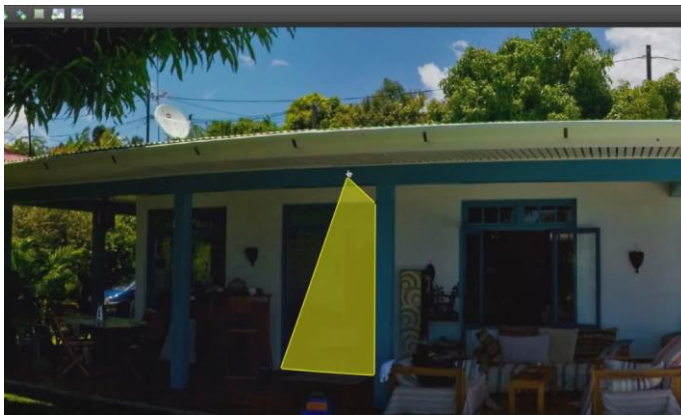
360-kuvan julkaisun voi toteuttaa myös ylläpitämällään verkkosivustolla. Tämä onnistuu asentamalla sivustolle HTML5-pohjaisen toistimen, kuten Pannellum tai Leanorama. Kummatkin ovat avoimeen lähdekoodiin perustuvia toistimia. Omalle sivustolle ja itse ylläpidettäviä toistimia on myös lukuisia muita vaihtoehtoja ja myös eri teknologioihin perustuvia, kuten Javaan tai Flashiin [22]. Tästä huolimatta HTML5:n ja virtuaalitekniikan suosion kasvaessa tulevat HTML5-pohjaiset ratkaisut varmastikin standardisoitumaan.

### 3 Virtuaalikerrokset

360-panoraamoja voi julkaista sivuillaan yksitellen, tai niistä voi tehdä suurempia kokonaisuuksia, eräänlaisia virtuaalikerroksia. Kierroksia voi tarkastella tietokoneen tai mobiililaitteen verkkoselaimen avulla. Myös virtuaalilasien käyttö onnistuu kummallakin alustalla [23].

Virtuaalikerroksia voidaan käyttää historiallisesti tai kulttuurisesti merkittävien tilojen tai miljööön dokumentointiin. Niitä voidaan myös käyttää esimerkiksi opetuksen tukena. Virtuaalikerrokset ovat yleistyneet myös kiinteistöalalla. [24.]

Virtuaalikerrokset koostuvat useista 360-kuvista, joiden välillä voidaan liikkua interaktiivisesti niin sanottujen ”hotspotien” [kuva 6] avulla. Hotspoteihin voidaan lisätä myös monia muita ominaisuuksia, kuten infopisteitä (esimerkiksi tekstiä, kuvia tai videoita) tai linkkejä muihin sivustoihin ja palveluihin. Virtuaalikerroksen ja sen ominaisuudet voi myös toteuttaa yhdellä 360-kuvalla, jolloin luonnollisesti kuvasta toiseen siirtyminen ei ole mahdollista. [25.]



Kuva 6. Esimerkki ”hotspotin” piirtämisestä Kolor Panotour -ohjelmassa. Kuvassa hotspot piirretään mukailemaan oven karmeja. [25.]

Käytetyimmät ohjelmat virtuaalikerrosten tekoon ovat KRPanon Gesellschaft mbH:n KRPanon ja Kolorin Panotour. Myös useat 360-kuvien ylläpitoa tarjoavat palvelut mainostavat itseään alustana, jolla virtuaalikerrosten kokoaminen onnistuu. KRPanon ja Panotour mahdollistavat virtuaalikerrosten ulkoasun, kuten navigointivalikkojen, muokkaamisen. Panotour-käyttöliittymä on graafisempi kuin KRPanon, ja sillä pystyy hyvin räätälöimään kierroksen ulkoasua ilman ohjelmointitaitoa. KRPanolla kierroksen muokkaus taas vaatii jonkin verran ohjelmointiosaamista. Tosin Panotour pohjautuu hyvin vahvasti

KRPanoon, joten senkin teemoja voi muokata web-ohjelmointikielillä. Ohjelmointiosamisessa avainasemassa ovat

- HTML
- CSS
- JavaScript
- PHP
- XML.

Myös erilaisten kirjastojen (kuten Bootstrap) käyttö onnistuu. [26.]

ForgeJS on GoPron kehittämä avoimen lähdekoodin web-viitekehys 360-materiaalille. Ensimmäinen versio julkaistiin 3.2.2017 [27]. Sen on tarkoitus tarjota alusta interaktiiviselle ja immersiiiviselle tarinankerronnalle. ForgeJS hyödyntää modernia web-tekniologiaa, kuten HTML5:tä, Javascriptiä ja WebGL:ää. Se on ominaisuuksiltaan ja käytettävyydeltään lähempänä KRPanoa kuin muut VR-viitekehukset. GoPron mukaan ForgeJS on niin helppokäyttöinen, että jopa ohjelmointitaidotonkin pystyy käyttämään sitä, mutta samalla se pystyy tarjoamaan ohjelmoijillekin tarvittavat ominaisuudet. [28.]

Vaikka GoPro painottaa ForgeJS:n markkinoinnissa sen mahdollisuuksia tarinallisen sisällön luomisessa, voi sitä hyödyntää myös perinteisemmin 360-kuvien kanssa. Virtuaalikerrosten tekeminen ForgeJS:llä on mahdollista sen laajojen ominaisuuksien ansiosta, ja siinä onkin useita erilaisia hotspoteja ja lisäosia. Koska ForgeJS pohjautuu avoimeen lähdekoodiin, voi osaava ohjelmoija muokata sitä mieleisekseen, tai kehittää tarvitsemiin ominaisuuksia lisäosina. [28; 29.]

#### **4 Virtuaalikampuksen kehitystyö**

Insinööriyön tarkoitus oli kehittää ja toteuttaa Metropolia Ammattikorkeakoululle virtuaalikerros osaksi sen Virtuaalikampus-hanketta. Virtuaalikampuksen on tarkoitus mahdollistaa opiskelu, opetus ja yhteisöllinen työskentely joustavasti. Visuaalisesti Virtuaalikampus hyödyntää 360-, AR- ja VR-tekniologiaa. Virtuaalikampuksen beeta-versio valmistuu vuoden 2018 ensimmäisellä neljänneksellä, ja sen yksi osa-alue on insinööriyön 360-kuvia hyödyntävä virtuaalikerros. Virtuaalikampuksen kehitystyö jatkuu vuoden 2018 aikana. [30.]



Virtuaalikerrokselle annettiin työskentelynimeksi myös Virtuaalikampus, sillä sen on tarkoitus integroitua saumattomasti Virtuaalikampus-kokonaisuuteen. Jatkossa tässä insinööriyössä puhuttaessa Virtuaalikampuksesta tarkoitetaan kehitteillä olevaa virtuaalikerrosta.

Virtuaalikampuksen kehitystyön kulku oli seuraavanlainen:

- Ensin tehtiin selvitystyötä kuvaus- ja jälkikäsitteilyprosessin kanssa ja pyrittiin löytämään ratkaisut ilmenneisiin ongelmiin.
- Kun kuvausprosessi oli saatu optimoiduksi, oli vuorossa Metropolian kampusten tilojen kuvaukset.
- Kuvatut tilat yhdistettiin 360-kuviksi, ja tehtiin tarvittavat muokkaukset jälkikäsitteilyssä.
- Valmiista 360-kuvista muodostettiin valmis virtuaalikerros.
- Virtuaalikampuksen työohjeet dokumentointiin jatkokehitystä varten.

Tämän insinööriyön pääpaino on kuvausprosessin optimoimisessa. Virtuaalikampusta oli kehittämässä kahden hengen työryhmä. Työryhmän kesken oli jaettu eri osa-alueita erilaisilla painotuksilla. Tässä insinööriyöraportissa haluttiin kuitenkin kuvata koko Virtuaalikampuksen kehitysprosessi, joten tästä johtuen jotkin projektin osa-alueet on kuvattu suppeammin.

#### 4.1 Parallaksipisteen määrittäminen

Kuvattaessa 360-kuvia järjestelmäkameralla ja panopäällä on tärkeää tietää laitteiston parallaksipiste. Jos kameran ja objektiivin parallaksipistettä ei ole määritetty oikein, se tulee näkymään kuvien liitoskohdissa hyvin selvästi parallaksivirheinä.

Jokaisella kamera- ja objektiivimalliyhdistelmällä on oma parallaksipisteensä. Internetistä voi löytyä listoja kameraobjektiiviyhdistelmien parallaksipisteistä, mutta koska erilaisia yhdistelmiä on lukuisia, on varmempaa määrittää piste itse.

Parallaksipisteen määrittämisen periaate on yksinkertainen:

- Kamera asetetaan panopään kelkkaan silmämääräisesti niin, että kameran ja objektiivin keskikohta olisi panopään keskellä.
- Kameran etsimeen otetaan kaksi samassa linjassa olevaa kohdetta, toinen etualalta ja toinen taaempaa [kuva 7].

- Seuraavaksi kameraa käännetään vasemmalle samanaikaisesti seuraten taaempaa kohdetta etsimen läpi. Jos taaempi kohde liikkuu vasemmalle, kameran parallaksipiste on taaempana kuin panopään keskikohta.
- Kameraa siirretään hiukan eteenpäin panopään kelkalla ja toistetaan edellinen kohta.
- Kun kohteet pysyvät etsimessä samassa linjassa kameran kääntämisestä huolimatta, parallaksipiste on löytynyt. Kohta kannattaa merkitä muistiin, jotta seuraavalla kerralla kuvaamisen aloittaminen on helpompaa. [31.]
- Jos aikataulu ei ole liian tiukka, kannattaa lopuksi vielä ottaa testikuva ja varmistaa, että parallaksipisteen määrittäminen on onnistunut.

Kuvassa 7 on lasiseinään liimattu teipinpala, joka on samassa linjassa taaempana näkyvän pystylinjan kanssa.



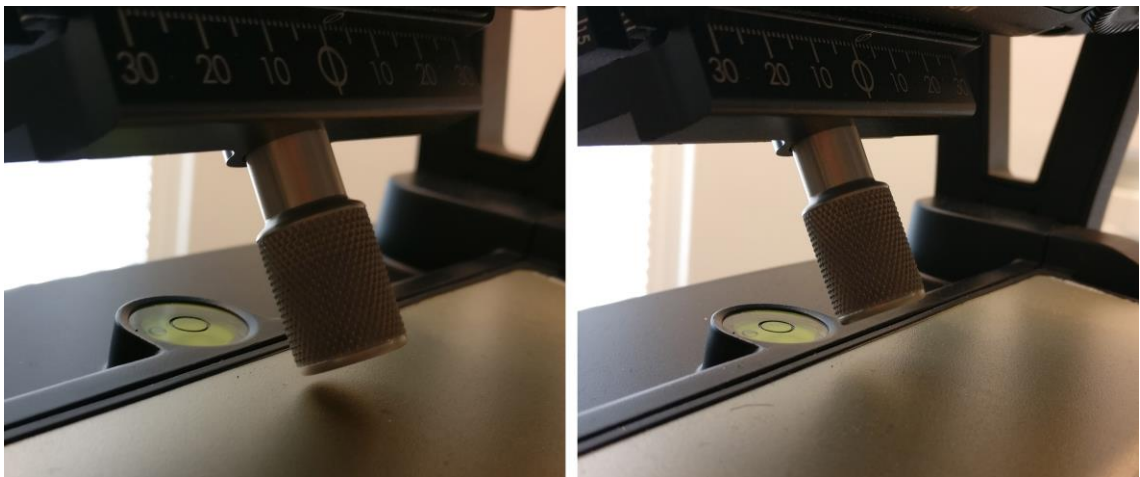
Kuva 7. Teipinpala liimattuna lasiseinään.

Projektia varten selvitettiin edellä esitetyn periaatteen mukaisesti kahden eri kameran ja kolmen objektiivin erilaisten yhdistelmien parallaksipiste. Tulokset ovat kirjattuna taulukoon 2.

Taulukko 2. Projektia varten testattujen kameroiden ja objektiivien parallaksipisteen mukainen kameran kelkan paikka GigaPan EPIC Pro -panopäässä. Kelkan kohta on ilmaistu millimetreinä (mm).

	Canon EOS 5D Mark III	Canon EOS 7D
Sigma EX 10-20 mm	105	
Canon Zoom Lens EF 35	90	75
Canon Zoom Lens EF 24-105		90

Parallaksipistettä määriteltäessä pitää ottaa huomioon myös mahdolliset panopään rajoitukset. Esimerkiksi projektissa käytössä olleen GigaPan EPIC Pro -panopään kelkka ei saa ylittää 85 mm:ä, jos halutaan kuvata kokonaisia 360-kuvia. Jos kelkka ylittää 85 mm, ruuvi joka kiristää kameran panopään kelkkaan, ottaa kiinni panopään runkoon ylöspäin kuvatessa ja saattaa vahingoittaa panopäätä [kuva 8].



Kuva 8. Vasemmanpuoleisessa kuvassa GigaPan EPIC Pro -panopään kelkka on asennettu 90 mm:n kohdalle, jolloin kelkan kiristysruuvi ottaa kiinni sen runkoon. Oikeanpuoleisessa kuvassa kelkka on asennettu 85 mm:n kohdalle.

Kun kameran ja objektiivin parallaksipiste on selvitetty, niiden muiden ominaisuuksien testaaminen on luotettavampaa. Jos kuvassa on virheitä, on parallaksin vaikutus niiden syntymiseen helppo poistaa, kun tiedetään kameran ja objektiivin olevan oikeassa pisteessä.

## 4.2 HDR-panoraamat

Ensimmäiset testikuvaukset suoritettiin Metropolian Leppävaaran-kampuksen aulassa. Testikuvien tarkoituksena oli selvittää, millä lailla suuri ja hämärä tila vaikuttaisi 360-panoraaman koostamisprosessiin. Lisäksi haluttiin nähdä, kuinka ihmisten vapaa liikkuminen vaikuttaisi lopulliseen panoraamakuvaan.

Testikuvista huomattiin heti, että hämärän tilan ja ulkoa tulevan auringonvalon välillä oli liian suuri dynaaminen ero, joka poltti puhki aulan ikkunat. Tähän ratkaisuksi päätettiin testata 360-panoraamojen kuvausta HDR-kuvina. Myös työn asiakas toivoi värikylläisiä kuvia.

HDR eli High Dynamic Range tarkoittaa valokuvauksessa sitä, että samasta näkymästä otetaan useampia kuvia eri valotusarvoilla. Nämä kuvat yhdistetään niin, että valokuvan tummimmat ja vaaleimmatkin yksityiskohdat säilyvät. HDR-kuvan voi tehdä kahdestakin eri valotuksella otetusta kuvasta, mutta kolmella eri valotuksella (varsinainen kuva ja sen yli- ja alivalotettu versio) saadaan laajempi dynaaminen alue kuviin. [32.]

GigaPan EPIC Pro -panopäässä on useita Bracketing-tiloja HDR-kuvausta varten [33, s. 8]. Testiin valittiin kolmen kuvan Bracketing-tila. Panopää otti valittujen asetusten mukaisesti aulasta kuvat, minkä jälkeen ne vietiin Kolor Autopano Giga -ohjelmaan. Autopano Gigassa on mahdollista yhdistää kuvista HDR-panoraamoja. HDR-panoraamojen luontiprosessi on hyvin selkeä jo ohjelmaa tuntevalle. Ongelma kuitenkin ilmeni, kun valmis kuva oli saatu renderöityä Gigasta: tiedosto ei auennut Photoshopilla tai millään muullaakaan sovelluksella. Testiksi samoista kuvista tehtiin vielä pienempi perinteinen panoraama, siltä varalta, että HDR-tekniikka ei olisikaan ollut yhteensopiva 360-kuvien kanssa. Tässä osittaisessakin panoraamassa oli sama ongelma. Tästä pystyttiin toteamaan Autopano Gigan HDR-prosessoinnissa olevan jotain vialla.

Oloneo PhotoEnginen sivuilta löytyi ohje HDR-panoraamojen tekoon ja raakakuvat kolmella eri valotuksella, joilla sitä voisi kokeilla. Ohjeen mukaan kuvat yhdistettiin ensin omiksi panoraamoiksi. Tämän jälkeen kaikki kolmella eri valotuksella olevat panoraamat voitiin yhdistää yhdeksi HDR-panoraamaksi PhotoEnginellä. Ohje päätettiin testata sen tarjoamilla kuvilla. Näin saatiinkin projektin ensimmäinen onnistunut HDR-kuva aikaiseksi. [34.]

Seuraavaksi prosessi päätettiin uusien Metropolian aulan kuvilla. Ajan säästämiseksi yhdistettiin vain osittainen panoraama täyden 360-kuvan sijaan. HDR-panoraama onnistui jälleen, mutta siinä oli hyvin pahoja ”haamujälkiä”. Haamujäljet syntyvät siitä, kun ihmiset olivat liikkuneet aulassa kuvanottohetkien välissä. Liikkunut kuvauskohde on tallentunut jokaiseen kuvaan eri paikkaan, jolloin kuvien yhdistämisprosessissa nämä kohdat jäävät himmeämmiksi ja läpinäkyviksi, ikään kuin haamun näköisiksi. Googlen avulla löytyi PhotoEnginen arvostelu, jossa kerrottiin sen ongelmista kuvien välisen liikkeen käsitelyssä. [35.]

HDR-panoraaman tekoa koetettiin vielä HDRsoft-yrityksen Photomatix-ohjelmistolla. Jälleen aikataulullisista syistä testi tehtiin vain osittaisella panoraamalla. Photomatixilla haamujäljet olivat huomattavasti paremmat, ja osan niistä sai siivottua kokonaan pois kuvasta. Kuvassa kuitenkin jäi selkeitä haamukohtia, ja Photomatix jätti myös haamujälkiä sellaisiin kohtiin, joihin PhotoEngine taas ei jättänyt. Kuvassa 9 voi nähdä eron PhotoEnginen ja Photomatixin välillä. Photomatix on käsitellyt huomattavasti paremmin haamukohtat kuvan oikeassa reunassa, kuten portaita ylös nousevan henkilön ja keskemällä ylös vievien portaiden edessä olevan haamujäljen. Myös kuvan vasemmassa reunassa oleva henkilö on selkeämmin hahmotettavissa kuin PhotoEnginen vastaava. Photomatix kuitenkin teki joitain asioita huonommin. Kuvan 9 vasemmassa reunassa hissien kohta näyttää luonnollisemmalta PhotoEnginen kuvassa ja portaiden edestä poistetun ”haamun” jälki näyttää luonnottomalta.

Lisäksi huomionarvoista on se, että Photomatix teki haamujen poiston eri tavoin kuvan asetuksista riippuen. Kaikilla HDR-esiasetuksilla haamujen poisto ei ollut niin hyvä kuin testikuvissa. Kuvan 9 PhotoEnginen kuvassa käytettiin Natural Soft -esiasetusta ja Photomatixin kuvassa Realistic-esiasetusta.



Kuva 9. Sama HDR-kuva tehtynä kahdella eri HDR-ohjelmalla. Ylempi kuva yhdistetty Oloneo PhotoEnginellä ja alempi HDRsoft Photomatix -ohjelmalla.

Koska Virtuaalikampuksen kuviin tulisi ihmisiä, päätettiin HDR-kuvista luopua, sillä kuvassa esiintyvien henkilöiden täytyisi olla lähes liikkumatta. HDR-kuvien ottaminen nostaisi kuvausajan lähes kolminkertaiseksi.

#### 4.3 Panoraamakuvaus ja Virtuaalikampus

Selvitystyö HDR-kuvien kanssa toi esille ongelman kuvaushetkellä tapahtuvasta liikkeestä, joka tallentuisi kuviin. Sama ongelma ilmenee myös 360-kuvien kanssa, jotka kuvataan järjestelmäkameralla.

360-kuvia otettaessa GigaPan EPIC Pro -panopää kuvaa myötäpäivään sektori kerrallaan ylhäältä alas. Kun panopää on pyörähtänyt akselinsa ympäri, on kamera ottanut tarvittavat kuvat 360-kuvan muodostamiseen. Se, montako kuvattavaa sektoria on, riippuu käytetyistä kamerasta ja linssistä sekä panopään asetuksista.

Kuvausprosessin optimoimiseksi järjestettiin kaksi testiä, joissa kuvattiin luokkahuone kesken oppitunnin. Luokassa olleita henkilöitä ei ohjeistettu millään tavalla, jotta nähtäisiin, miten heidän liikkumisensa vaikuttaisi 360-kuviin. Testikuvissa ilmenikin mielenkiin-

toisia haamukohtia. Joillain henkilöillä oli useampia raajoja tai heidän kohdallaan ja lähetyillä oli muunlaisia vääristymiä. Kuvien virheitä koetettiin häivyttää Autopano Giga -ohjelman maskaustyökälulla. Joissain kohdin maskaus toimi erittäin hyvin, mutta kaikkiin kohtiin sekään ei tepsinyt. Yksi tällainen tapaus oli henkilö, joka oli istunut luokassa kahdessa eri kohtaa ja näin tallentunut kahteen eri kuvaussektoriin [kuva 10]. Tällaista kaksoisolentoa ei voisi maskata pois, koska hän oli ollut kummallakin paikalla tarpeeksi kauan tallentuakseen täysin molempiin sektoreihin. Otetuista kuvista ei siis löytyisi kyseisille sektoreille kuvaa, josta häntä ei löytyisi.



Kuva 10. Luokkahuonetestin kuva, jossa saman henkilön voi nähdä istumassa oikeassa ja vasemmassa reunassa. Kuvan oikealla reunalla on nähtävissä myös muita haamuvirheitä.

Testien perusteella tultiin tulokseen, että kuvissa olevien ihmisten pitäisi olla liikkumatta, jotta lopulliset 360-kuvat onnistuvat. Kuvattavan ei tarvitse olla täysin jähmettyneenä ja liikkumatta. Hän voi esimerkiksi käyttää tietokonetta, mutta jos hän liikkuu huomattavasti, syntyy kuviin yllä mainittuja virheitä. Virheiden syy on se, että kuvatusta henkilöstä ei löydy kahta tai useampaa kuvaa, jossa hän olisi samassa asennossa. Näistä kuvista joudutaan yhdistämään lopullinen 360-kuva, jolloin liikkuneen henkilön kohdalla on vääristymiä.

Projektissa määriteltiin, että ihminen kykenee olemaan liikkumatta n. 5–7 minuuttia, eli yhden 360-kuvan ottaminen saisi kestää enintään 7 minuuttia.

Otettaessa 360-kuvia järjestelmäkameralla kuvausaikaan vaikuttavat useat asiat. Tärkeimmät kuvausaikaan vaikuttavat tekijä ovat seuraavat:

- Objektiivin näkökenttä. Mitä laajempi linssin näkökenttä on, sitä vähemmän kuvia tarvitsee ottaa täyden 360-kuvan muodostamiseen.
- Panopään ominaisuudet. Panopään merkittävin ominaisuus on se, onko se manuaalisesti käytettävä vai automatisoitu robotti.

- Kameran kuvausasetukset. Luonnollisesti kamerasuljin aika vaikuttaa siihen, kuinka kauan yhden kuvan ottaminen kestää. Sen vaikutusta ei kuitenkaan voida pitää kovin suurena, suljinajat ovat tavallisesti sekunnin murto-osia. [36.]

Käytössä olleessa GigaPan EPIC Pro -panopäässä oli kolme moottorin nopeutta, hidas, normaali ja nopea. Käyttöön valittiin nopein vaihtoehto, sillä pikaisessa testissä tämän ei huomattu vaikuttavan kuvien laatuun negatiivisesti. Panopään toimintanopeuteen vaikuttaa myös sen Overlap-asetus. Se vaikuttaa siihen kuinka paljon kuvattavat sektorit ovat päällekkäisiä. Projektissa käytettiin 45 %:n Overlap-arvoa, eli vierekkäisten kuvaussektorien sisältö oli lähes puoliksi sama. Tämä sen takia, että suuremmalla kuvien päällekkäisyydellä saadaan pienennettyä kuvien yhdistämisvirheitä. Pienemmällä Overlap-arvolla kuvausaikaa saisi pienennettyä.

Kameran näkökenttä (Field of View, FOV) riippuu objektiivin polttovälistä ja kamerasensorin koosta. Mitä laajempi kamerasensorin näkökenttä on otettaessa 360-kuvia, sitä vähemmän tarvitsee ottaa kuvia 360-kuvan muodostamiseksi. [37.]

Kuvausajan pienentämiseksi kameraksi valikoitui Canon EOS 5D Mark III, sillä Canonin 5D-sarjan kameroissa on täysikokoinen kenno. Projektin alussa käytössä olleessa Canon EOS 7D -kamerassa taas on ns. croppiksen kenno, eli sen kennon koko on pienempi kuin 35 mm. Kennon koko vaikuttaa siihen, kuinka suuri kamerasensorin tallentama näkökenttä on. [38; 39.]

Täysikokoisella kennolla on myös paremmat hämäräkuvausominaisuudet. Sen ISO-arvoa voidaan nostaa enemmän ilman kuvaan ilmestyvää kohinaa kuin croppiksen kennolla [36]. ISO-asetus vaikuttaa siihen kuinka herkästi kamerasensorin kenno ottaa valoa vastaan. Yleisesti ISO-arvo kannattaa pitää mahdollisimman pienenä juuri kohinan välttämiseksi ja käyttää muita kamerasensorin asetuksia kirkkaan kuvan saamiseksi. [36.] Koska projektin 360-kuvissa olisi useita muuttujia, päädyttiin lopputulokseen, jossa ISO-arvoa voisi nostaa muutaman pykälän ja mahdollinen kohina korjattaisiin jälkikäteen kuvankäsittelyllä.

Objektiiviksi valittiin Canon EF 35 mm. Kyseessä on kiinteän polttovälin objektiivi, mikä tarkoittaa, ettei objektiivin zoomia voi säätää. Kiinteä objektiivi valittiin, sillä kuvattaessa 360-panoraamoja zoom-objektiivien kanssa riskinä on niin sanottu "zoom creep". Tässä ilmiössä painovoima vaikuttaa objektiivin ja saa esimerkiksi objektiivin zoomaamaan alaspäin kuvattaessa. Käyttämällä kiinteää objektiiviä tätä ei luonnollisestikaan tapahdu.



Markkinoilla on myös erilaisia kuminauhoja, kuten noin 8 euron hintainen LensBand, jonka voi asentaa objektiivin zoomaus-renkaalle estämään zoom creepin. [40; 41.]

Virtuaalikampan 360-kuvien kannalta merkittävä tekijä oli myös kuvien syväterävyys. Kameran aukon koko vaikuttaa valotuksen lisäksi syväterävyyteen. Kuvista haluttiin valoisia ja teräviä. Nämä vaatimukset ovat osittain ristiriitaisia, sillä kaikki kameran asetukset vaikuttavat toisiinsa ja aukon koko vaikuttaa syväterävyyteen ja valoisuuteen taas päinvastaisesti. Pienellä aukolla syväterävyysalue on laaja, mutta valoa pääsee kennolle vähemmän. Pitkällä suljinajalla kuviin saisi lisää valoa, mutta koska myös kuvien mahdollinen liike haluttiin pysäyttää, suljinaika pyrittiin pitämään mahdollisimman pienenä. Näiden vaatimusten perusteella pyrittiin selvittämään ISO-arvon nostoa. [36.]

Syväterävyyden laskemiseksi Android-älypuhelimelle asennettiin DOF Calculator -sovellys [42]. Laskimelle syötetään kameran asetukset ja kohteen etäisyys, joiden perusteella se laskee syvyysterävyysalueen. Manuaaliasetuksilla kuvatessa laskuriin laitetaan käytetty aukon koko eli f-luku ja polttoväli sekä kuvattavan kohteen etäisyys. Kuvassa 11 vasemmanpuoleisessa ruutukaappauksessa on laskettu syvyysterävyys, kun kohde on yhden metrin päässä. Kuvan oikeanpuoleisessa ruutukaappauksessa kohde on neljän metrin päässä, jolloin syvyysterävyysalueeksi saadaan ”ääretön”. Kummassakin tapauksessa aukon koko on 11 ja polttoväli 35 mm.

### DOF Calculator

Manual Mode C1 C2

**FullFrame 35mm**

Aperture F-Stop

Focal Length

Subject Distance  m Distance Unit

CALCULATE

Near Focus	Depth of Field	Far Focus
<b>78,9 cm</b>	<b>57,59 cm</b>	<b>136,5 cm</b>
In Front of Subject	HyperFocal Distance	Behind Subject
<b>21,1 cm (36,63%)</b>	<b>364,42 cm</b>	<b>36,5 cm (63,37%)</b>

### DOF Calculator

Manual Mode C1 C2

**FullFrame 35mm**

Aperture F-Stop

Focal Length

Subject Distance  m Distance Unit

CALCULATE

Near Focus	Depth of Field	Far Focus
<b>190,6 cm</b>	<b>Infinite</b>	<b>Infinity</b>
In Front of Subject	HyperFocal Distance	Behind Subject
<b>209,4 cm</b>	<b>364,42 cm</b>	<b>Infinite</b>

Kuva 11. Kuvan syvyysterävyyden laskeminen kohteen sijainnin mukaan.

Syväterävyyden alueen laskujen perusteella sopivaksi aukon kooksi päätettiin 11. Kamera taas pyrittiin sijoittamaan sellaiseen kohtaan, jossa sen ympärillä olisi noin kaksi metriä tyhjää tilaa.

#### Virtuaalikampanuksen kuvaukset

Virtuaalikampanuksen ensimmäiset kuvaukset sijoituivat marras- ja joulukuun vaihteeseen, toiset tammikuun puoleenväliin ja loppuun. Kuvausten välissä suoritettiin kuvankäsittelyä ja Virtuaalikampanuksen kehitystä. Kuvauksissa pyrittiin toimimaan aiemman selvitystyön lopputulosten mukaisesti, mutta jokaisen tilan kuvausasetukset täytyi tietenkin arvioida paikan päällä. Kuvauskalustona kaikissa kuvauksissa oli

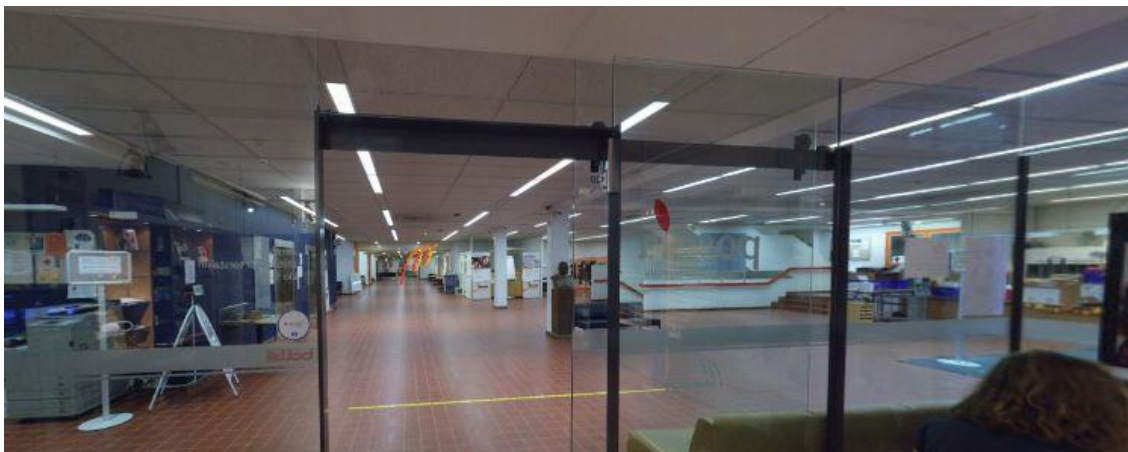
- Canon EOS 5D Mark III -järjestelmäkamera
- Canon EF 35 mm -objektiivi
- GigaPan EPIC Pro -panopää
- kamerajalusta
- Alienware 17 R4 -kannettava työasema
- Leica Disto A3 -lasermitta.

Projektin ensimmäiset 360-kuvaukset olivat Metropolian Leiritien kampuksella 27.11.2017 ja Vanhan Viertotien sekä Mannerheimintien kampuksilla 28.11.2017. Leiritiellä kuvattavana oli neljä eri tilaa, mutta yhdestä laajemmasta tilasta päätettiin ottaa kaksi kuvaa eri paikoilta. Kamera pyrittiin asettamaan aina tilan keskelle tai niin, että se vangitsisi kuvassa tapahtuvat asiat mahdollisimman hyvin. Selvitystyön testeissä huomattiin myös, ettei kameraa kannata sijoittaa suoraan kirkkaan valonlähteen alle. Tämä saattaisi sotkea automaattista kuvien yhdistämisprosessia ja näin tuoda kuvien editointivaiheeseen turhan ongelman.

Koska aukon koko pyrittiin pitämään 11:ssä, valittiin muut kameran asetukset sen perusteella. Suljinaika oli kaikissa kuvissa 1/60 sekuntia, muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. ISO-arvoa nostettiin muutama pykälä 2000:n paikkeille. Valkotasapaino määriteltiin kuvaamalla valkoista lappua. Kuvat otettiin RAW-formaatissa. Oikeanlaisen kuvan saamiseksi kuvattiin muutama yksittäinen testikuva eri puolilta tilaa. Näillä asetuksilla yhden kuvan ottaminen kesti noin 10 minuuttia. Kuviin osallistuneita henkilöitä ohjeistettiin olemaan mahdollisimman liikkumatta, kun kuvattiin sektoria, jossa he näkyisivät.

Koska kuvauksissa oli mukana Alienwaren kannettava työasema, päätettiin ensimmäinen kuva yhdistää 360-panoraamaksi. Näin voitaisiin varmistua, että kuva onnistui. RAW-kuvien yhdistäminen kannettavalla työasemalla oli kuitenkin niin aikaa vievä prosessi, että muita kuvauksia täytyi jatkaa aikataulussa pysymiseksi. Ensimmäinen valmis 360-kuva valmistui kolmannen tilan kuvauksien aikana. Kuva oli onnistunut, joten tästä tehtiin oletus, että muutkin kuvat ovat onnistuneita.

Kaikki kuvaukset menivät lähes saman kaavan mukaisesti, ja kuvauskäytänteet rutinoituivat hyvin nopeasti. Ainoat poikkeukset tähän tekivät kaksi tilaa. Ensimmäinen tällainen tila oli Leiritien kampuksen Megora-tila. Tila oli ongelmallinen kuvata, sillä se oli käytävän yhteydessä oleva avonainen tila. Riskinä oli siis, että kuviin eksyisi henkilöitä, jotka eivät niihin kuulu. Sama ongelma oli myös Mannerheimintien Optikkomyymälässä. Myymälässä oli lasiseinä, jonka takaa avautui rakennuksen pääaula [kuva 12]. Samassa rakennuksessa toimii myös useita muita toimijoita Metropolian lisäksi, joten aulassa oli paljon liikennettä.



Kuva 12. Ruutukaappaus Virtuaalikampuksen Mannerheimintien Optikkomyymälän lasiseinästä.

Molemmat tilat saatiin kuvattua onnistuneesti panopään pause-toiminnon avulla. Kuvaukset yksinkertaisesti pysäytettiin siksi aikaa, että ihmiset pääsivät kulkemaan tilan ohi, minkä jälkeen panopää jatkoi kuvaamista siitä kohdin, mihin se pysäytettiin. Giga-Pan EPIC Pro -panopäässä on myös toiminto, jolla kuvauksen voi keskeyttää ja ottaa uusiksi viimeisimmäksi otetun kuvan ja tämän jälkeen jatkaa kuvausta tavalliseen tapaan. Tämä on kätevä ominaisuus, jos huomaa jo kuvaushetkellä edellisen kuvan mahdollisista virheistä.

Kaiken kaikkiaan Virtuaalikampukseen kuvattiin kolmekymmentä kuvaa kahdeksastoista eri tilasta.

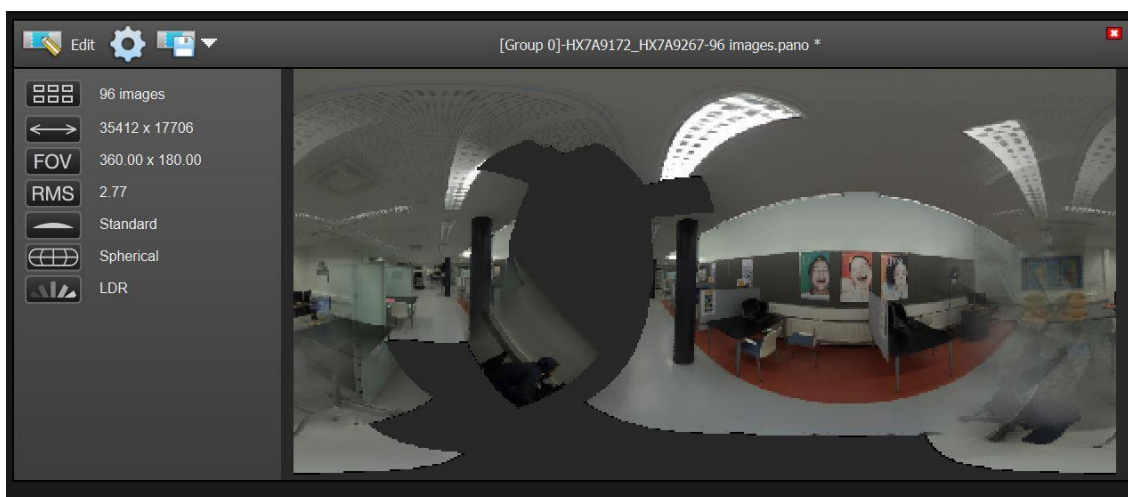
### Kuvankäsittely

Yksittäisten kuvien yhteenliittämiseksi käytettiin Autopano Giga -ohjelmistoa ja valmiin 360-kuvan muokkaukseen Adobe Photoshop CC 2018:ta. Autopano Giga osaa yhdistää automaattisesti kuvat 360-panoraamaksi melko hyvin vakioasetuksilla. Giga osasi yhdistää suurimman osa Virtuaalikampuksen kuvista oikein, jolloin käyttäjälle jäi tehtäväksi vain horisontin suoristaminen ja renderöintiasetusten säätäminen. Renderöinnissä käytettiin pakkaamattomia tiedostomuotoja, kuten TIFF- ja PSB/PSD-tiedostoja, kuvien laadun säilyttämiseksi. Renderöinnin jälkeen kuva on valmis Photoshopiin vietäväksi.

Joskus kuitenkin vakioasetukset eivät anna halutunlaista lopputulosta, ja yksittäiset kuvat saattavat olla väärillä paikoilla tai Giga on jopa tulkinnut ne erilliseksi kuvaksi. Projektin aikana ilmenneitä yleisimpiä tapauksia olivat.

- kameran sijoittaminen kirkkaan valonlähteen alle
- kuvien väliset kohdat, joissa ei ole juurikaan yksityiskohtia, kuten esimerkiksi useamman kuvaussektorin täyttävä valkoinen seinä, myös liian tiheästi toistuvat kuviot laajalla alueella [43]
- asiat, jotka ovat liian lähellä kameraa, esimerkiksi liian matala katto.

Nämä eivät ole tarkkoja sääntöjä, eikä aina voi olla varma, minkä takia Autopano Giga ei onnistu yhdistämisessä automaattisesti. Yksi tällainen tapaus on osa Metropolian Lepävaaran kirjastosta otetuista kuvista. Kuvasta 13 voi nähdä ohjelman aikaansaannoksen vakioasetuksilla. Kuva ei yhdistynyt oikein myöskään Detect Quality -asetuksen ja Control Points -arvon nostoilla. Nämä ovat ensimmäiset toimenpiteet, jotka epäonnistu neelle tunnistamiselle (Detect) kannattaa tehdä. Kuva saatiin korjattua Kolorin Autopanon dokumentaatiosta löytyneen ohjeen avulla. Ohje ei suoraan käynyt sellaisenaan, vaan kokeilemalla ja soveltaen kuva saatiin yhdistettyä oikein. Projektissa toimivaksi todettu tapa dokumentoitiin Virtuaalikampuksen työohjeisiin. Ohjeen mukaan tunnistamisen jälkeinen optimointi suoritetaan manuaalisesti ja vain Local approach valitaan. Tällä valinnalla kuvien väliset huonot linkit vaikuttavat hyvin linkkeihin vähiten [43]. Tämän jälkeen kuvalle suoritetaan Geometric Analysis, ja optimointiasetukset asetetaan manuaalisesti. Viimeiseksi suoritetaan täysioptimointi (vakioasetuksilla käytössä on nopeaoptimointi).



Kuva 13. Epäonnistunut kuvien yhdistäminen Autopano Gigan vakioasetuksilla.

Geometric Analysis ja täysi optimointi ovat raskaita prosesseja työasemalle, ja vaikka käytössä olikin tehokas pöytäkone, vei ohjeen mukainen yhden kuvan korjaus useita tunteja. Tähänkin vaikuttaa panoraamaan kuuluvien kuvien määrä ja tiedostomuoto. Korjatussa kirjaston kuvassa oli noin 100 yksittäistä RAW-kuvaa.

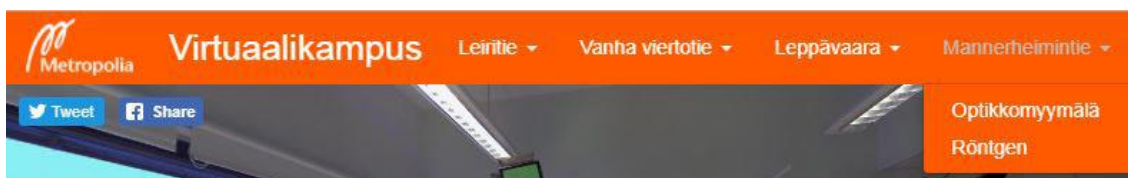
Helppomillään kuvaan jäävän pienen aukon voi korjata etsimällä puuttuva kuva Gigan editoinnissa. Joskus puuttuva kuva jää muiden kuvien alle, ja se tarvitsee vain siirtää oikealle paikalle. Pieniä reikiä, esimerkiksi valkoisessa seinässä, voi myös korjata renderöinnin jälkeen Photoshopilla.

Kun kuvat oli renderöity Autopano Gigasta, tehtiin niille vielä peruskuvankäsittelyä Photoshopissa, kuten automaattiset sävy-, kontrasti- ja värikorjaukset sekä manuaalinen sävyalueen säätö. Kuvat pyrittiin saamaan kirkkauksiltaan ja väreiltään niin yhtenäisiksi kuin mahdollista. Kahdesta Vanhan viertotien luokasta maskattiin peileistä heijastuvat kuvauskalustot ja Leiritien Megora-tilan käytävälle jääneet varoituskartiot. Haluttujen muokkausten jälkeen kuvat tallennettiin pakkaamattomaan formaattiin ja vietin Kolor Panotour -ohjelmistoon virtuaalikerroksen tekemistä varten.

### Virtuaalikampus

Metropolian Virtuaalikampus kehitettiin Kolorin Panotour -ohjelmalla, sillä projektiryhmällä oli aiempaa kokemusta virtuaalikerrosten teosta sillä. Koska Virtuaalikampukselle haluttiin Metropolian graafisen tyylin mukainen ulkoasu, päätettiin Virtuaalikampuksen kehityksen pohjana käyttää Panotourin projektimallia, joka hyödynsi Bootstrap-kirjas-toja. [27.]

Bootstrapia hyödyntämällä pystyttiin nopeasti muokkaamaan Virtuaalikampuksen ulkoasu halutunlaiseksi. Suurin yksittäinen tekijä ulkoasussa oli Bootstrapilla luotu navigointipalkki [kuva 14]. Koska Bootstrap osasi sijoittaa automaattisesti palkkiin Panotouriin viedyt kuvat, jäi ainoaksi tehtäväksi ulkoasun muokkaaminen. Ulkoasun määrittelyssä käytettiin apuna Metropolian graafista ohjeistoa, jonka mukaan fontit, värit ja logot valittiin [44]. Navigointivalikon ulkoasun muokkaus tehtiin CSS-tyyliohjeilla. Virtuaalikampuksen hotspotien ulkoasun muokkaus onnistui Panotour-ohjelmalla. Navigointipalkki oli valmiiksi responsiivinen Bootstrapin ansiosta, ainoastaan yhden mediakyselyn katkaisukohtaa täytyi siirtää.



Kuva 14. Metropolian Virtuaalikampuksen navigointipalkki.

Bootstrap-mallipohja aiheutti kuitenkin myös ongelmia kehitystyön aikana. Aina kun Virtuaalikampukseen tekee muutoksia, joutuu Panotour-ohjelma ”rakentamaan” sen uudestaan. Tässä yhteydessä Panotour kirjoittaa HTML- ja CSS-koodit takaisin alkuperäisen Bootstrap-mallipohjan mukaisiksi. Kaikki tehdyt muutokset häviävät. Ongelma ratkaistiin sillä, että muokatut koodinpätkät otettiin talteen ja lisättiin aina rakennuksen jälkeen uudestaan. CSS pystyttiin kokoamaan omaan tiedostoonsa, joka vain liitettiin takaisin uudelleen rakennettuun HTML-tiedostoon. HTML-muokkaukset, joita ei onneksi ollut kovin suurta määrää, taas jouduttiin uudelleen lisäämään oikeille kohdilleen manuaalisesti. Huomioitavaa on myös se, että vaikka pystyttiin luomaan toinen CSS-tiedosto lisäyksiä varten, täytyi uudelleen rakennetusta CSS-tiedostosta poistaa tietyt koodit, jotteivat ne olisi ristiriidassa muokkauksien kanssa. Tästä johtuivat projektissa ilmenneet ohjelma- virheet navigointipalkin responsiivisuudessa.

Panotour-ohjelmassa kuviin lisättiin halutut hotspotit kuvien välillä liikkumista varten ja erilaisten asioiden käynnistämistä varten, ja valikoiden ulkoasut sekä toiminnot muokattiin sopiviksi. Asiakkaalla ei ollut vielä tässä vaiheessa valmista sisältöä, jota hän haluaisi laittaa Virtuaalikampukseen, joten Metropolian markkinointimateriaaleista koottiin yhdelle sivulle mallidemonstraatio Panotourilla toteutettavissa olevista ominaisuuksista. Kuvassa 15 on ruutukaappaus Leiritien Megora-tilasta, johon demonstraatio koottiin. Keskellä kuvaa on upotettu Metropolian eri koulutusohjelmia esittelevä markkinointivideo. Vasemmalla pöydän luona oleva oranssi videopainike avaa näytölle ikkunan, jossa pyörii toinen markkinointivideo. Kuvan vasemmassa reunassa tolpan juuressa oleva oranssi i-symboli taas avaa Metropolian verkkosivut uudelle välilehdelle. Alalaidassa keskellä olevassa työkalupalkissa on

- zoomaus-painikkeet
- virtuaalilasitila
- kuvan automattinen pyöriminen
- kokoruututila
- työkalupalkin piilotus.



Kuvan vasemmassa yläkulmassa ovat sosiaalisen median painikkeet. Kuvassa 15 oikeassa laidassa oleva nuolipainike vie seuraavaan kuvaan, joka ilmestyy, kun hiiren vie sen lähetyville.



Kuva 15. Virtuaalikampuksen toiminnallisuuksia koottuna yhteen kuvaan.

Virtuaalikampuksen ensimmäinen versio esiteltiin Metropolian johtoryhmälle helmikuun alussa, ja vastaanotto oli ollut positiivinen [45]. 5.3.2018 Virtuaalikampus siirrettiin kehitystyössä käytössä olleelta palvelimelta Metropolian palvelimelle, 360.metropolia.fi-domainin alle. Virtuaalikampusta ei kuitenkaan ole tässä vaiheessa julkaistu virallisesti.

Virtuaalikampuksen kehitystyö jatkuu, kun sinne tarkoitettua sisältöä lisätään ja päivitetään. Tulevaisuudessa Virtuaalikampuksesta olisi tarkoitus tehdä kaksi erillistä versiota joiden sisällöt vaihtelevat. Toinen olisi kaikille avoin markkinoinnissa hyödynnettävä kampus, ja toinen olisi suljettu opetukseen hyödynnettävä virtuaalikierros.

Keskeisimpänä ongelmana insinööriyössä oli korkealaatuisten 360-kuvien aikaan saaminen, jotka täyttäisivät asiakkaan toiveet. Kuvien piti olla valovoimaisia ja tarkkoja. Lisäksi kuvissa olisi ihmisiä, jotka suorittaisivat päivittäisiä askareitaan, ja heidän liikkeensä tulisi pysäyttää. Useiden testien perusteella tultiin tulokseen, että kuvissa tapahtuvat asiat täytyy lavastaa tarpeeksi laadukkaiden kuvien saamiseksi. Osa kuvauksista oli kesken oppituntien, ja järjestelmäkameran 360-kuvauksen luonteen vuoksi kuvaukset saattoivat häiritä oppitunteja. Tulevissa kuvauksissa olisi järkevää, että kuvaukset ja tarvittavat lavastukset saataisiin sovittua oppitunneista erilleen.



Toinen vaihtoehto kuvausprosessin kehittämiseksi olisi kameran vaihtaminen tarpeeksi laadukkaaseen 360-kameraan, kuten aiemmin esiteltyn Panono 360 -kameraan. Tämä lyhentäisi kuvaamiseen tarvittavaa aikaa huomattavasti. Koska Panono 360:llä pystyy ottamaan valmiin 360-kuvan yhdellä napin painalluksella, eivät kuvaukset häiritse oppitunteja merkittävästi. Lisäksi pystyttäisiin välittömästi kuvan ottamisen jälkeen toteamaan, onko kuva onnistunut, ilman aikaa vievää erillisten kuvien yhdistämisprosessia.

## 5 Yhteenveto

360-teknologia ja virtuaalidellisuuden suosio ja käyttökohteet ovat lisääntyneet viime vuosina tekniikan kehittyessä ja hintojen laskiessa. Tämän kehityssuunnan oletetaan jatkuvan ja 360-teknologian leviävän vielä uusiin käyttökohteisiin.

Insinööriyönä kehitettiin Metropolia Ammattikorkeakoululle Virtuaalikampus-hankkeeseen 360-teknologiaa hyödyntävä virtuaalikierros. Virtuaalikierroksen on tarkoitus lisätä visuaalinen lähestymistapa Metropolian virtuaalikampukseen tarjoamalla käyttäjälle immerstiivinen kokemus 360-teknologiaa hyödyntäen ja näin tukea virtuaalisia opiskelutapoja. Lisäksi virtuaalikierrosta voidaan käyttää myös markkinoinnissa.

Insinööriyössä selvitettiin 360-panoraamojen kuvausprosessi järjestelmäkameraa ja panopäätä käytettäessä. Tämän lisäksi toteutettiin 360-kuvaukset Metropolian tiloista ja muodostettiin kuvista virtuaalikierros tulevaa Metropolian Virtuaalikampusta varten. Virtuaalikierrokselle kehitettiin ulkoasu, joka on Metropolian graafisen ohjeiston mukainen. Virtuaalikierrosta on tarkoitus päivittää tulevaisuudessa sisällön osalta. Nyt tehty työ toimii pohjana tulevaisuudelle.

Henkilökohtaisella tasolla insinööriyö oli monipuolinen ja opettavainen. Minulla ei juuri-kaan ollut aiempaa kokemusta järjestelmäkameralla kuvaamisesta, joten järjestelmäkameran toimintaan perehtyminen oli opettavaista. Projekti myös vahvisti Photoshop-kuvankäsittelytaitojani ja syvensi osaamistani 360-kuvien jälkikäsittelyn osalta, erityisesti kuvien yhteenliittämisen ja siinä ilmenevien ongelmien osalta. Vaikka projektin web-ohjelmointiosuus jäi suppeaksi, sen lähinnä keskittyessä pieniin CSS:llä tapahtuviin ulkoasun muokkauksiin, se antoi itseluottamusta tälläkin osa-alueella. Oli mukava huomata, kuinka mieleen palasi aiemmin opintojen aikana läpikäytyjä asioita, joita pystyi nyt soveltamaan.

Virtuaalikampuksen kehitys valikoitui insinööriyön aiheeksi kiinnostavuutensa ansiosta. Minulla oli jo jonkin verran kokemusta 360-teknologiasta aiemmilta opintojaksoilta. Kun insinööriyöaihe tuli vastaan, olin heti kiinnostunut, vaikkakin alussa puhutut työn haasteet askarruttivat. Jälkeenpäin voin sanoa olevani tyytyväinen aiheen valintaan, ja saavutettuihin tuloksiin.

Insinööriyön tavoitteet onnistuttiin saavuttamaan, joten sitä voidaan pitää onnistuneena. Tehty työ antaa pohjan Virtuaalikampuksen jatkokehitykselle.

## Lähteet

- 1 Projections. Verkkoaineisto. PTGui. <<https://www.ptgui.com/man/projections.html>>. Luettu 27.3.2018.
- 2 How To Get Started on 360° Panoramic Photography. Verkkoaineisto. 360Cities. <<https://www.360cities.net/help/taking-panoramic-pictures/how-to-get-started>>. Luettu 13.11.2017.
- 3 Autopano Giga - Panorama Editor - Projections. Verkkoaineisto. Kolor. <[http://www.kolor.com/wiki-en/action/view/Autopano\\_Giga\\_-\\_Panorama\\_Editor\\_-\\_Projections](http://www.kolor.com/wiki-en/action/view/Autopano_Giga_-_Panorama_Editor_-_Projections)>. Luettu 27.3.2018.
- 4 Understanding Projecting Modes. Verkkoaineisto. Kolor. <[http://www.kolor.com/wiki-en/action/view/Understanding\\_Projecting\\_Modes](http://www.kolor.com/wiki-en/action/view/Understanding_Projecting_Modes)>. Luettu 23.3.2018.
- 5 360° Stereoscopic Panoramas. Verkkoaineisto. 360Cities. <[https://www.360cities.net/help/stereo\\_panos](https://www.360cities.net/help/stereo_panos)>. Luettu 23.3.2018.
- 6 Panoraamavalokuvaus: Panoraamapää ja No-Parallax Point (NPP). Verkkoaineisto. Maisemanlumo. <<http://www.maisemanlumo.fi/artikkelit/panoraamavalokuvaus-panoraamapaa-ja-no-parallax-point-npp>>. Luettu 10.11.2017.
- 7 Frich, Arnaud. 2018. The Shooting. Verkkoaineisto. The guide to panoramic photography. <<https://www.panoramic-photo-guide.com/virtual-tour-360-photography/shooting-virtual-tour.html>>. Päivitetty 24.1.2018. Luettu 6.4.2018.
- 8 Seebode, Georg. 2017. How to take 360 photos with your smartphone and share them on Facebook. Verkkoaineisto. AndroidPIT. <<https://www.androidp.it.com/how-to-take-360-photos-smartphone#iphone>>. Päivitetty 4.2017. Luettu 7.3.2018.
- 9 Samsung Gear 360 (2017). Verkkoaineisto. Samsung. <<http://www.samsung.com/global/galaxy/gear-360/specs>>. Luettu 22.3.2018.
- 10 Samsung Gear 360 (2017). Verkkoaineisto. Samsung. <<http://www.samsung.com/fi/wearables/gear-360-2017>>. Luettu 12.3.2018.
- 11 Crash Course: GoPro Omni Tips & Tricks. Verkkoaineisto. MKE Production Rental. <<http://www.mkeproductionrental.com/omni-tips-tricks>>. Luettu 12.3.2018.
- 12 Kelion, Leo. 2017. Nokia kills off Ozo high-end virtual reality cameras. Verkkoaineisto. BBC. <<http://www.bbc.com/news/technology-41567051>>. Luettu 6.4.2018.

- 13 Panono 360 camera kit (VR-kamera). Verkkoaineisto. Digitarvike. <<https://www.digitarvike.fi/panono-360-vr--kamera>>. Luettu 6.4.2018.
- 14 Parry, Tim. 2016. Beginners Guide To 360 Photography. Verkkoaineisto. Graphics. <<http://www.graphics.com/article-old/history-panoramic-image-creation>>. Päivitetty 26.12.2016. Luettu 30.10.2017.
- 15 GigaPan announces Epic Pro motorized panorama head. 2010. Verkkoaineisto. DPReview. <<https://www.dpreview.com/articles/7428824208/gigapanepicpro>>. Päivitetty 16.3.2010. Luettu 31.10.2017.
- 16 Martin, Jeffrey. 2012. London 320 Gigapixel Panorama Photo. Verkkoaineisto. 360cities. <<http://360gigapixels.com/london-320-gigapixel-panorama>>. Päivitetty 10.2012. Luettu 13.3.2018.
- 17 Frequently Asked Questions - General. Verkkoaineisto. Kolor. <[http://www.kolor.com/wiki-en/Frequently\\_Asked\\_Questions\\_-\\_General#What\\_is\\_the\\_required\\_computer\\_configuration\\_to\\_use\\_the\\_latest\\_version\\_of\\_Autopano.3F](http://www.kolor.com/wiki-en/Frequently_Asked_Questions_-_General#What_is_the_required_computer_configuration_to_use_the_latest_version_of_Autopano.3F)>. Luettu 25.3.2018.
- 18 Facebook 360 Photos. Verkkoaineisto. Facebook. <<https://facebook360.fb.com/360-photos>>. Luettu 19.3.2018.
- 19 Make 360-degree photos for Facebook (Tech Minute). Verkkoaineisto. CNET. <<https://www.youtube.com/watch?v=jbvJPOC4bQs>>. Luettu 19.3.2018.
- 20 Flickr VR. Verkkoaineisto. Flickr. <<https://www.flickr.com/vr>>. Luettu 20.3.2018.
- 21 Quick Starter Facts. Verkkoaineisto. 360Cities. <<https://www.360cities.net/help>>. Luettu 22.3.2018.
- 22 Panorama Viewers. 2016. Verkkoaineisto. Panotools. <[https://wiki.panotools.org/Panorama\\_Viewers#HTML5\\_based\\_Viewers](https://wiki.panotools.org/Panorama_Viewers#HTML5_based_Viewers)>. Päivitetty 26.4.2016. Luettu 12.3.2018.
- 23 Panotour - Notions - VR\_Mode. Verkkoaineisto. Kolor. <[http://www.kolor.com/wiki-en/action/view/Panotour\\_-\\_Notions\\_-\\_VR\\_Mode](http://www.kolor.com/wiki-en/action/view/Panotour_-_Notions_-_VR_Mode)>. Luettu 1.11.2017.
- 24 Lefranc, Cosima. 2016. Virtual reality for real estate. Fad or Future? Verkkoaineisto. Archilogic. <<https://spaces.archilogic.com/blog/virtual-reality-real-estate-fad-future>>. Päivitetty 19.7.2016. Luettu 2.11.2017.
- 25 Panotour: My first virtual tour. Verkkoaineisto. Kolor. <<https://www.youtube.com/watch?v=5UcYO1HdU1s>>. Luettu 2.11.2017.

- 26 Panotour - Advanced - HTML Templates. Verkkoaineisto. Kolor. <[http://www.kolor.com/wiki-en/action/view/Panotour\\_-\\_Advanced\\_-\\_HTML\\_Templates](http://www.kolor.com/wiki-en/action/view/Panotour_-_Advanced_-_HTML_Templates)>. Luettu 1.11.2017.
- 27 Roux, Raphaël. Releases. Verkkoaineisto. GoPro. <<https://github.com/go-pro/forgejs/releases>>. Luettu 11.4.2018.
- 28 FAQ. Verkkoaineisto. GoPro. <<http://forgejs.org/faq>>. Luettu 22.3.2018.
- 29 Tutorials. Verkkoaineisto. GoPro. <<http://forgejs.org/tutorials>>. Luettu 8.4.2018.
- 30 Virtanen, Mari. 2018. Metropolian virtuaalikampus. Verkkoaineisto. Metropolian intranet. <<https://oma.metropolia.fi/henkilokunnalle/oppimistoiminta/digipedagogiikka/virtuaalikampus>>. Päivitetty 1.2.2018. Luettu 26.3.2018.
- 31 Finding the No-Parallax Point. Verkkoaineisto. Really Right Stuff. <<http://www.reallyrightstuff.com/finding-the-no-parallax-point>>. Luettu 10.11.2017.
- 32 HDR-valokuvaus. Verkkoaineisto. Canon. <<https://www.canon.fi/get-inspired/come-and-see/showcase/hdr-photography>>. Luettu 26.3.2018.
- 33 EPIC Pro User Guide. Verkkoaineisto. Gigapan Systems. <<http://gigapan.com/cms/manual/pdf/epicpro-manual.pdf>>. Luettu 3.11.2017.
- 34 Clappier, Antoine. HDR Panorama Tutorial - PhotoEngine & Autopano. Verkkoaineisto. Oloneo. <<http://www.oloneo.com/en/page/resources/tutorials-photoengine/tutorial-photoengine-autopano.html>>. Luettu 7.11.2017.
- 35 Rudis, Blake. 2011. Oloneo PhotoEngine Review. Verkkoaineisto. f.64 Academy. <<https://f64academy.com/oloneo-hdr-review>>. Luettu 7.11.2017.
- 36 Saari, Mikko. 2012. Järjestelmäkameran manuaalisäädöt. Verkkoaineisto. Mikko Saari. <<http://www.mikkosaari.fi/jarjestelmakameran-manuaalisaadot>>. Luettu 14.11.2017.
- 37 Understanding Your Camera: Focal Length, Field of View and Angle of View Defined. 2010. Verkkoaineisto. MartyBugs. <<http://martybugs.net/blog/blog.cgi/learning/Field-Of-View-And-More.html>>. Luettu 12.4.2018.
- 38 Saari, Mikko. 2016. Croppikenno vs täysikokoinen kenno. Verkkoaineisto. Järjestelmäkamera.fi. <<http://www.jarjestelmakamera.fi/croppikenno-vs-taysikokoinen-kenno>>. Luettu 1.4.2018.
- 39 Crop vs. Full Frame Cameras. Verkkoaineisto. SLR Lounge. <<https://www.slrlounge.com/workshop/crop-vs-full-frame-cameras>>. Luettu 1.4.2018.

- 40 Saari, Mikko. 2012. Valokuvauksen perusteita: Polttoväli. Verkkoaineisto. Mikko Saari. <<https://www.mikkosaari.fi/polttovali>>. Luettu 2.4.2018.
- 41 LensBand Zoom Lens Creep Reducer - Black. Verkkoaineisto. Amazon. <<https://www.amazon.co.uk/LensBand-Zoom-Lens-Creep-Reducer/dp/B0050KEEW0>>. Luettu 6.11.2017.
- 42 DOF Calculator. Verkkoaineisto. Google Play. <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.aimenrg.dof>>. Luettu 2.4.2018.
- 43 Autopano - Common cases that don't stitch automatically - Repetitive patterns. Verkkoaineisto. Kolor. <[http://www.kolor.com/wiki-en/action/view/Autopano\\_-\\_Common\\_cases\\_that\\_don%27t\\_stitch\\_automatically\\_-\\_Repetitive\\_patterns](http://www.kolor.com/wiki-en/action/view/Autopano_-_Common_cases_that_don%27t_stitch_automatically_-_Repetitive_patterns)>. Luettu 15.1.2018.
- 44 Metropolian graafinen ohjeisto. Verkkoaineisto. Metropolian intranet. <<https://oma.metropolia.fi/henkilokunnalle/viestinta-ja-markkinointi/graafinen-ohjeisto>>. Luettu 4.4.2018.
- 45 Spännäri, Toni. 2018. Lehtori, Mediatekniikka, Metropolia Ammattikorkeakoulu, Espoo. Keskustelu 2

