



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Atte Hyvärinen

360-teknologian hyödyntäminen virtuaalikampuksen toteuttamisessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tieto- ja viestintätekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

30.5.2019

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Atte Hyvärinen 360-tekniologian hyödyntäminen virtuaalikampuksen toteuttamisessa 43 sivua + 1 liite 30.5.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	tieto- ja viestintäteknikka
Ammatillinen pääaine	mediateknikka
Ohjaaja	lehtori Ulla Sederlöf
<p>Insinööriyössä tutkittiin 360-tekniologiaa osana virtuaalikampuksen toteutusta. 360-tekniologia on jatkuvasti kehittyvä tekniikan ala, jonka käyttö on lisääntynyt virtual reality- eli VR-tekniologian suosion myötä. Työn tarkoituksena oli kehittää virtuaalikierroksen prototyyppi 360-panoraamavalokuvia käyttäen ja määrittää ja optimoida 360-tuotantoprosessissa käytettäviä laitteita ja ohjelmistoja. Työn tilasi pääkaupunkiseudulla toimiva ammattikorkeakoulu.</p> <p>Työn aikana suunniteltiin ja toteutettiin 360-kuvilla toteutettu virtuaalikierrossivusto esittelytarkoituksiin ja luomaan pohjaa jatkokehitykselle. Oppimisympäristön ominaisuuksia hyödyntävät toiminnot olivat olennaisia virtuaalikampuksen toteutuksessa. Työn pohjalta dokumentoitiin 360-tuotantoon perehdyttävät työohjeet sivuston ylläpitämistä ja jatkokehitystä varten.</p> <p>Työ toteutettiin kahdessa vaiheessa. Suunnitteluvaiheessa projektissa käytettävä kalusto, ohjelmistot ja tuotantoprosessit määriteltiin, testattiin ja optimoitiin. Toteutusosiossa suoritettiin kuvausprosessi, materiaalin editointi ja sivuston toteutus mukautetulla ulkoasulla. Työssä käytettiin erilaisia laitteisto- ja ohjelmistoratkaisuja virtuaalikierrossivuston suunnittelussa ja toteutuksessa. Työ toteutettiin pääosin panoraamavalokuvausjärjestelmää ja Kolor-ohjelmistoratkaisuja käyttäen. Ongelmia työn toteuttamisessa aiheuttivat kuvien parsimisongelmat ja parsimis- ja editointiprosessien ajallinen kesto.</p> <p>Työn tuloksena sivuston voidaan todeta onnistuneen hyvin. Työ toimitettiin tilaajalle ajallaan, ja siitä saatu palaute oli positiivista. Sivuston otokset olivat laadukkaita, mikä mahdollisti laajan tarkennuksen ilman merkittäviä kuvavirheitä. Työn tulokset ovat hyödynnettävissä sivuston jatkokehitystarkoituksissa. 360-kuvien ja -ohjelmistoratkaisujen todettiin tarjoavan tehokkaita työkaluja virtuaalikierrosten oppimisympäristö- ja perehdytyskäytössä.</p>	
Avainsanat	360-tekniologia, panoraamavalokuvaus, virtuaalikierros

Author Title	Atte Hyvärinen Utilizing 360 technology in implementation of virtual campus
Number of Pages Date	43 pages + 1 appendix 30 May 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information and Communication Technology
Professional Major	Media Technology
Instructor	Ulla Sederlöf, Senior Lecturer
<p>The thesis studies 360 technology as a part of virtual campus project. 360 applications are a constantly evolving field of technology. The use of 360 has increased due to the popularity of VR technology. The purpose of the final year project was to develop a virtual tour website prototype based on 360 photography, and to optimize equipment and software processes used in 360 production. The project was commissioned by a university of applied sciences based in Helsinki metropolitan area.</p> <p>A virtual tour site based on 360 images was designed and developed for demonstration purposes. The project created the basis for further development of the virtual tour site. Implementing website features that could be used in educational purposes were essential. Work instructions, covering site maintenance and development, were documented based on the project work.</p> <p>The project was carried out in two phases. In the planning stage, the equipment, software and work processes used in project, were defined, tested and optimized. The photography process, editing of data and development of the website were conducted during the implementation stage. The application of various photography equipment and software was required during the project. The project was mainly carried out using the panoramic photographic system and the Kolor software solutions. Issues in project occurred with stitching problems and through time-consuming editing and stitching processes.</p> <p>The project concluded to be a success. The project was submitted in time and the feedback was positive. Site scenes were of high quality, enabling extensive design without significant picture errors. The results of the project work can be utilized for further development of the web site. 360 images and software solutions proved to provide useful tools for virtual tours with educational and demonstrational purposes.</p>	
Keywords	360-technology, panoramic photography, virtual tour

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	360-tuotanto	2
2.1	360-tuotannon perusteet	2
2.2	Panoraamavalokuvaus	4
2.3	Kuvausvälineistö	7
2.4	Parsiminen	8
2.5	Ohjelmistot	12
3	Virtuaalikampus	14
3.1	Projektin taustat	15
3.2	Vaatimusmäärittely	16
3.3	Työn suunnittelu	17
3.4	Välineistön määrittely	18
3.5	Kuvausprosessi	21
4	Editointiprosessi	22
4.1	Parsimisongelmat	24
4.2	Sivuston toteutus	26
4.3	Panotour-ohjelmisto	27
4.4	Ulkoasu	32
4.5	Käyttöönotto ja jatkokehitys	35
5	Yhteenveto	38
	Lähteet	40
	Liitteet	
	Liite 1. Kuvaustilat	

Lyhenteet

AF	Auto Focus
CSS	Cascading Style Sheets
DSLR	Digital single-lens reflex
FOV	Field of View
HDR	High dynamic range
HTML	Hypertext Markup Language
JPEG	Joint Photographic Experts Group
NPP	No parallax point
VR	Virtual reality

1 Johdanto

Virtuaalikampusta voidaan kuvailla osaksi virtuaalikierroksiin liittyviä teknologioita, joilla voidaan luoda toimintoja opiskelijoiden, opettajien ja oppilaitoksen organisaation muiden osien välille ilman fyysisen kommunikaation tarvetta. Insinööriyö käsittelee erilaisten kalusto- ja ohjelmistoratkaisujen käyttöä virtuaalikampuksen toteutuksessa, projektin aikana ilmenneiden ongelmatilanteiden ratkaisua ja pohdintaa virtuaalikampuksen mahdollisista käyttö- ja jatkokehitysmahdollisuuksista. 360-teknologia on nopeasti kasvava median ala, joka on tiiviisti kytköksissä VR-teknologian (virtual reality) trendeihin. 360-tuotanto keskittyy edelleen vahvasti myös valokuvaustekniikan käyttöön.

Insinööriyön tarkoitus oli toteuttaa 360-kuviin pohjautuva virtuaalikampuksen prototyyppi esittelytarkoitukseen ja luomaan pohjaa mahdolliselle jatkokehitykselle. Työn tavoitteena oli määrittää ja optimoida tuotantoprosessissa käytettäviä laitteita ja ohjelmistoja ja näin mahdollistaa suoraviivainen sisällön lisääminen virtuaalikierrokseen projektin päätyttyä. Insinööriyön tutkimuskysymykseksi määriteltiin: Minkälaisia kalustoja ja ohjelmistoja vaaditaan virtuaalikampuksen toteuttamiseen ja mitä virtuaalikampuksen ylläpito vaatii? Insinööriyön luonteena oli tuotteen tai palvelun kehitystehtävä.

Työn tilaajana toimi Metropolia Ammattikorkeakoulu, jolla oli tarve virtuaalikampuksen tapaiselle verkkoympäristössä toimivalle sivustolle. Metropolia oli kiinnostunut käyttämään 360-otoksia toimipisteidensä visuaaliseen havainnollistamiseen ja perehdytys- ja opetusmateriaalien jakamiseen virtuaalikierron avulla.

Insinööriyö toteutettiin kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa tehtiin työn vaatimusmäärittely, alustava suunnittelu ja työssä käytettävän kaluston hankinta ja testaus. Toisessa vaiheessa tehtiin tilakuvaukset, sivuston toteutus ja työn toimitus tilaajalle.

Insinööriyöraportti on jaettu kolmeen osaan. Ensimmäisessä osiossa käsitellään 360-teknologian teoriaa termistöineen, historiaa, välineistöä ja ohjelmistoja. Toisessa osiossa tarkastellaan virtuaalikampuksen määritelmää ja ominaisuuksia. Viimeinen osio keskittyy työn toteutukseen vaatimusmäärittelyn, suunnittelun ja työprosessien kautta. Työprosessien esittelyssä käsitellään myös työn aikana ilmenneitä ongelmatilanteita ja niiden ratkaisuja.

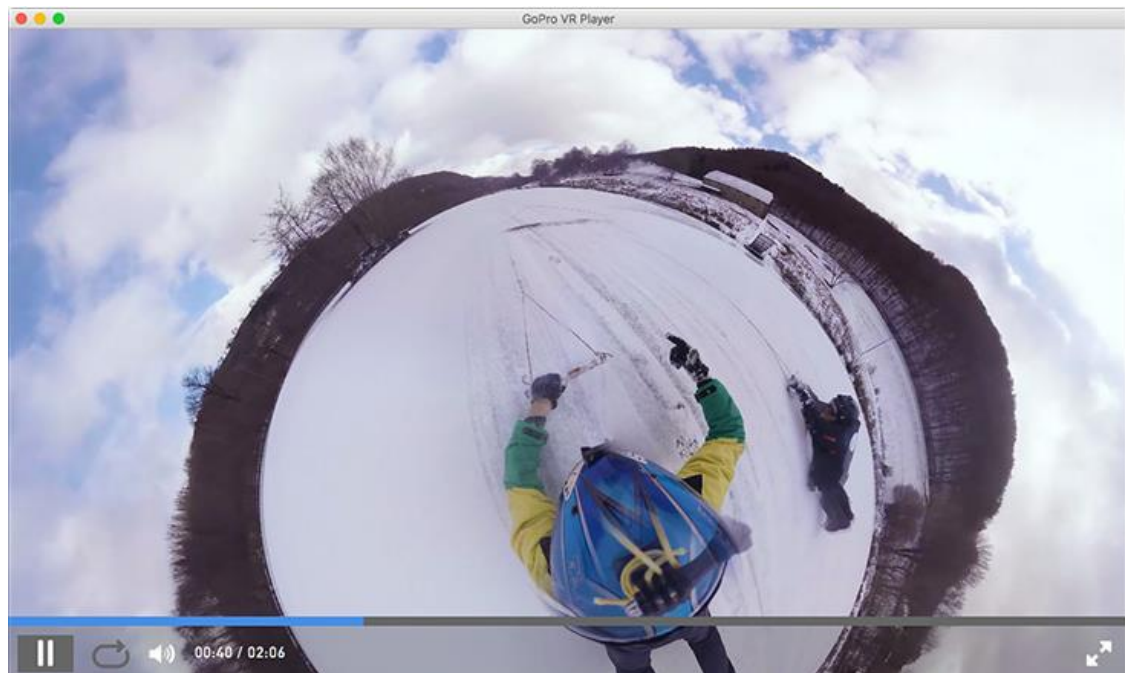
Insinööriyön aiheeseen päädyttiin, sillä työn tilaajalla oli tarve virtuaalikampuksen prototyypille ja työn tekijöillä (Atte Hyvärinen ja Eetu Järvinen) oli kokemusta 360-tuotannosta aiempien työ- ja opiskeluprojektien kautta. Työn motiivina toimi myös ammatillinen mielenkiinto, sillä 360-teknologiasta on tehty vain vähän tutkimuksia ja kyseessä on nopeasti kehittyvä teknologian ala.

2 360-tuotanto

2.1 360-tuotannon perusteet

360-tuotannolla tarkoitetaan sellaisten kuvien tai videoiden tuottamista, jotka kattavat ympyrämäisesti 180 x 360 asteen alan katsojan näkökentästä. Ihmisen normaali näkökentän projektio on noin 160 astetta [1]. Kameroiden linssien laajuus ja kuvien resoluutioiden tarkkuus eivät yleensä ole riittäviä yhden otoksen 360-median tuottamiseen, joten 360-kuvat koostetaan useiden kameroiden, tai yhden paikallaan siirreltävän kameran, kuvista. Tällöin useiden kuvien kollaasit täytyy parsia yhteen yhdeksi suureksi kuvaksi, minkä jälkeen otosta voidaan tarkastella toistimessa, joka levittää kuvan pallomaiseen muotoon ja antaa illuusion 360 asteen kuvasta. [2.]

Markkinoilta löytyviä 360-toistimia ovat esimerkiksi GoPro VR Player (Kolor Eyes), VLC Media Player, 360player, GOM 360 Media Player ja Player 360. Havainnollistava esimerkki toistimesta on nähtävissä kuvassa 1. Osa 360-toistimista on tarkoitettu paikalliseen toistamiseen työpöytäympäristössä ja osa upotettavaksi toistimeksi verkkoympäristöön. Käyttäjän tulee liikuttaa kuvaa toistimessa, jotta kaikki 360-kuvan katselukulmat tulevat esiin. VR-laseja käytettäessä 360-materiaalin tarkastelu on immersivistä ja kuva liikkuu käyttäjän pään liikkeiden mukaisesti.



Kuva 1. GoPro VR Player -toistin tinyplanet-tilassa [45].

VR-teknologia mahdollistaa perinteisten panoraamakuvien käytön immersiiivisinä 360-kuvina. Monet modernit VR-sovellukset tarjoavat vaihtoehtoja 360-materiaalin tarkasteluun esim. VR-lasien kanssa. Näyttöjen tuottaman kuvaresoluution tulee olla 360-tuotannossa riittävä, sillä liian matalan resoluution kuva pikselöityy kasvavan kuva-alan ja ympyrän muotoon levittämisen vuoksi. 2K- ja 4K-resoluutiot ovat modernissa videotekniikassa korkeita standardeja, mutta 360-tuotannossa usein riittämättömiä, sillä pikselikokonaisuuden täytyy kattaa 90 asteen sijasta 360 asteen kuva-ala [46]. Resoluutio vaikuttaa suoraan 360-median käyttökokemukseen, ja pikselöityminen onkin huomattava ongelma toistettaessa mediaa VR-laseilla, jolloin näyttöpäätteet ovat erittäin lähellä käyttäjän silmiä ja resoluution puutteen aiheuttama epätarkkuus rikkoo immersion virtuaalisesta todellisuudesta.

Julkaistaessa 360-sisältöä täytyy resoluution lisäksi ottaa huomioon datamäärien kasvu: gigapikselien kokoisten 360-kuvien jakaminen tulisi optimoida esim. multiresoluutiota tukevilla ohjelmistoilla, jotta 360-median tarkastelu eri laitteilla olisi sujuvaa [3]. 360-materiaalin tarkastelija näkee kerrallaan vain 90 astetta ympäröivästä maailmasta, joten median renderöinti vain käytetylle kuvasektorille helpottaa järjestelmän ja verkon kuormitusta. Resoluution laadusta saatetaan joutua tinkimään verkkojakamisen sulavuuden priorisoinnissa.

360- ja VR-sovellusten kehittyminen on nähtävissä suurten teknologiayritysten, kuten Googlen ja Facebookin, investoinneissa alan teknologiakehitykseen. Kameravalmistajien, kuten GoPro:n, Orahin, 360flyn ja Ricohin uudet laiteratkaisut ovat myös jatkuvasti tehokkaampia ja hinnoittelultaan kuluttajaystävällisempiä. Moderni mobiililaiteteknologia on mahdollistanut immerstiivisen 360-sisällön tarkastelun laitteisiin integroitujen antureiden kuten gyroskoopin avulla, mikä on lisännyt 360-median kulutusta kuluttajasegmentissä. [4.]

360-teknologia tarjoaa laajoja käyttömahdollisuuksia kuluttaja-, kulttuuri-, koulutus-, matkailu- ja hyvinvointimarkkinoille. 360-sovellusten käyttö tarjoaa kuluttajille mahdollisuuden tarkastella esimerkiksi lomakohteita, asuntoja, kulutustuotteita, konsertteja, musiikkivideoita, urheilutapahtumia, museokierroksia, uutisia ja koulutusportaaleja [5]. 360- ja VR-sovellukset tarjoavat myös elämänlaatua kehittäviä ratkaisuja hyvinvointitekniikan alalla esimerkiksi liikuntarajoitteisten ja autististen henkilöiden koulutus-, kuntoutus- ja viihdekäytössä [6].

2.2 Panoraamavalokuvaus

Virtuaaliympäristöistä ja 360-teknologiasta puhuttaessa ei voida sivuuttaa panoraamavalokuvaustekniikan vaikutusta nykyisiin valokuvaustekniikoiden suuntauksiin. Panoraamavalokuvauksella tarkoitetaan useiden valokuvaotosten ottamista sektoreittain, minkä jälkeen otokset voidaan yhdistää suuremmaksi kokonaisuudeksi. 360-kuvat ovatkin tarkemmin määriteltynä laajennettuja panoraamavalokuvia. Panoraama-valokuvauksen etuina voidaan nähdä olevan sen mahdollistama kuvien resoluutio ja kuva-alaltaan suurempien kuvakokonaisuuksien luominen ilman kamerajärjestelmien asettamia rajoituksia.

Ensimmäisiä 360-ratkaisuja sovellettiin 1700-luvulla maalaustekniikassa. Vuonna 1787 englantilainen maalari Robert Baker vakiinnutti ”panoraama”-termin käytön. Termi juontaa juurensa kreikan sanoista ”pan” (kaikki) ja ”horama” (näkyvä). Baker rakennutti kartiomallisen rakennuksen, jonka keskellä sijaitsevalta tasanteelta vierailijat pystyivät tarkastelemaan seinällä 360-asteisesti maalattua muraalia, joka loi illuusion Edinburghin maalaismaisemasta. [7.]

Panoraamamaalaukset syrjäyttäneet panoraamavalokuvaus on teknologian alana yhtä vanha kuin ranskalaisen Joseph Nicéphore Niépce'n vuonna 1826 kehittämä valokuvaustekniikka [7]. Varhaisessa panoraamavalokuvauksessa useita dagerrotypialevyjä yhdistettiin yhdeksi suureksi kuvakokonaisuudeksi [8]. Ensimmäinen käsikäyttöinen panoraamavalokuvaustarkoitukseen tarkoitettu 150 asteen kamerajärjestelmä kehitettiin vuonna 1843 itävaltalaisen Joseph Puchbergerin toimesta [7]. Kuvassa 2 havainnollistetaan varhaista panoraamavalokuvausteknologiaa.



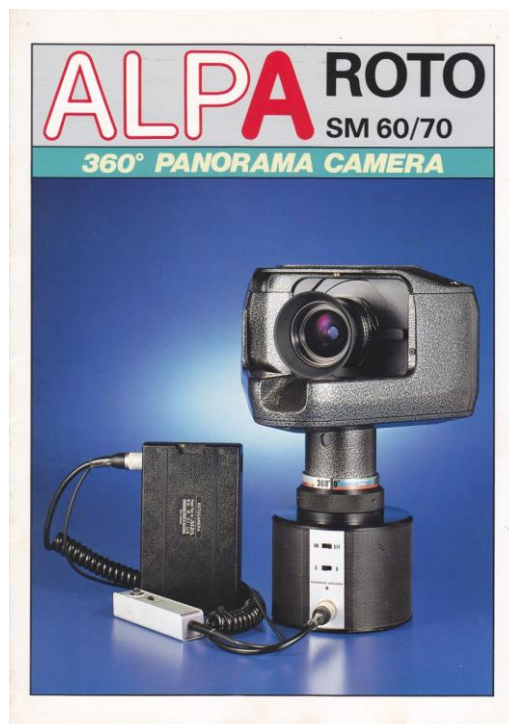
Kuva 2. Varhaista tekniikkaa edustava panoraamavalokuva vuodelta 1864 [9].

Ensimmäinen 360-valokuvaamiseen tarkoitettu oman akselinsa ympäri pyörivä valokuvauslaite julkaistiin vuonna 1857 englantilaisen M. Garrelan kehittämänä, ja panoraamavalokuvaus saavutti suuren suosion joustavan filminauhan keksimisen myötä. Suosituimpia 360-kamerajärjestelmiä ammattilaiskäytössä olivat Cirkut (kuva 3) ja Cyclorama. Varhaiset 360-kamerajärjestelmät olivat erittäin painavia ja asettivat logistisia haasteita. Ne olivatkin pääosin ammattilaisten käytössä maisemakuvauksessa, dokumentoinnissa sekä tiede- ja armeijakäytössä. [7.]



Kuva 3. Cirkut-kamera toimi motorisoidusti pyörivällä kamerajalustalla [10].

Pienemmät 360-kameraratkaisut mahdollistuivat 1950-luvulla 35 mm:n filmin kehityksen myötä. Filmin koko asetti kuitenkin rajoituksia panoraamojen vaatimille laadullisille vaatimuksille, joten isompaa filmiä hyödyntävät Sea Gull RL-360, Cyclo-Pan ja Hulcherama olivat ammattilaisten suosimia kamerajärjestelmiä 1950-luvulta aina 1980-luvulle asti. 1980-luvulla markkinoille tuli lukuisia pienikokoisia, manuaalisesti hallittavia ja täysmotorisoituja 360-kamerajärjestelmiä, kuten Panoscope, Roundshot ja Alpa Roto 70 (kuva 4). 1980-luvulla kompaktien kamerajärjestelmien kuvanlaatu riitti ammattilaiskäyttöön, ja koska 360-kamerajärjestelmien hinnat olivat yli 1 000 dollaria, ne eivät saavuttaneet suosiota kuluttajasegmentissä. [7.]



Kuva 4. Alpa Roto oli kompakti 360-ammattilaiskamera [11].

Panoraamavalokuvaus on vakiinnuttanut paikkansa valokuvaustekniikkana, ja 2000-luvun myötä kamerajärjestelmien hinnat ovat laskeneet kuluttajamarkkinoille sopiviksi. Mobiiliympäristöön integroidut kameraratkaisut ovat jatkuvasti tehokkaampia, ja yksinkertaisimmillaan 360-otoksia voi taltioida älypuhelimien kamerasovelluksilla. VR-tekniikan suosio on lisännyt myös kiinnostusta 360-valokuvauksen käyttöön virtuaalitodellisuuden sovelluksissa. [7.]

Nykyajan 360-panoraamavalokuvauksessa korkealaatuiseen lopputuloksen saamiseksi käytetään usein DSLR-kamerajärjestelmän ja panoraamapään yhdistelmää, joiden toimintaa käsitellään tarkemmin luvussa 2.3. Moderneja dedikoituja 360-valokuvaus- ja videointijärjestelmiä edustavat muun muassa Instax360 One X, GoPro Fusion, Ricoh Theta V, Kodak PixPro SP360 4K, 360fly 4K, Garmin Virb 360 ja Samsung Gear 360. Dedikoitujen 360-järjestelmien linssien määrä, kuvalaatu ja hinta vaihtelevat suuresti. Näiden kamerajärjestelmien etuna voidaan nähdä helppokäyttöisyys, siirrettävyyden mahdollistava pieni koko, yhdistettävyyys wifi-yhteydellä mobiililaitteisiin ja kuvausprosessin nopeus. Modernit 360-kuvausjärjestelmät voivat tallentaa jopa 5.7K-resoluution videokuvaa ja 24 megapikselin still-kuvia. Dedikoitujen 360-järjestelmien hinnat vaihtelevat noin 200-800€ välillä riippuen järjestelmän laadullisista ominaisuuksista. Kompaktit 360-kamerajärjestelmäratkaisut ovat nykypäivänä suosittuja esimerkiksi maisema-, ilma- ja extreme-urheilu -kuvauksessa. [48.]

2.3 Kuvausvälineistö

DSLR-kamerat (digital single-lense reflex) eli peiliheijastuskamerat ovat ammattilaiskäyttöön suunnattuja järjestelmäkameroita. DSLR-kameroilla on monia hyödyllisiä lisäominaisuuksia tavallisiin digitaalikameroihin verrattuna, ja järjestelmäkameran laadukkaampi kuvakenno takaa tarkemman kuvajäljen. Kameraan asennettu peili heijastaa objektiivista tulleen valon etsimeen, jolloin kuvaajan on mahdollista nähdä etsimen kautta kuvan lopputulos, mikä helpottaa vallitsevaan valaistukseen sopivien asetusten määrittämistä. DSLR-kamera mahdollistaa erilaisten objektiivien, salamavalojen ja suodattimien käytön, jotka tekevät kamerasta monikäyttöisemmän ja mahdollistava kuvausolosuhteisiin mukautumisen tehokkaasti. [17.]

Panoraamapää on kamerajalustaan yhdistettävä lisäosa, jolla on mahdollista taltioida panoraama- ja 360 asteen kuvia. Panoraamapää eroaa perinteisestä kamerapidikkeestä kameran sijoittelumahdollisuuksien ansiosta. Kamera voidaan sijoittaa panoraamapään pidikkeeseen kiertämään horisontaalisesti ja verikaalisesti oman linssinsä ympärillä. Lisäksi panoraamapään kääntäminen asteittain kuviin tarvittavan päällekkäisyyden saavuttamiseksi on helppoa. Näin ollen panoraamapäää käytettäessä ei synny parallax-siefktiä, sillä kameran solmupiste ja NPP (no parallax point) pysyy kuvattaessa

samassa pisteessä. [13.] Parallaksiefektiä ja NPP:tä käsitellään tarkemmin luvussa 2.4. Kuvassa 5 on havainnollistettu panoraamapää ja DSLR-kamerajärjestelmä.



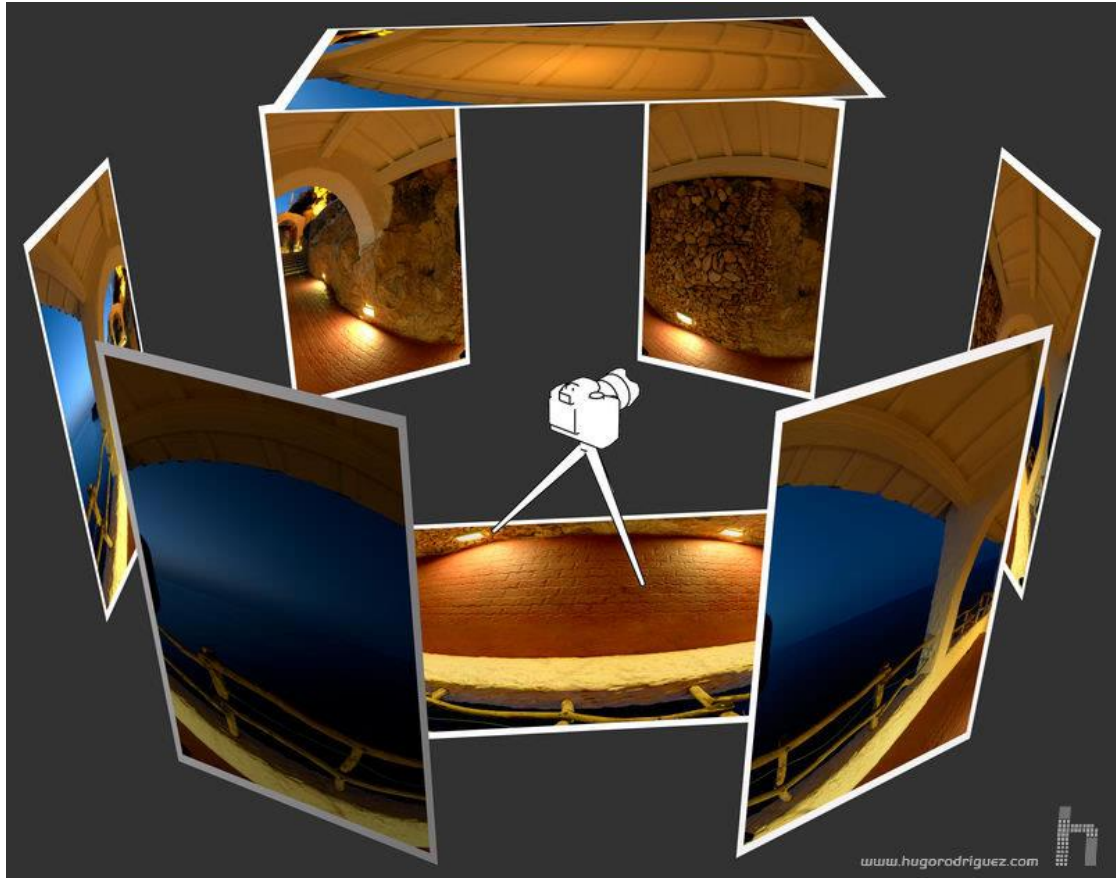
Kuva 5. Motorisoitu panoraamapää ja DSLR-kamera [19].

Panoraamapäitä on saatavilla sekä automaattisina (motorisoitu) että manuaalisina. Manuaalisen panoraamapään avulla panoraamapäätä käännetään käsin tietty astemäärä kuvien ottamisen välissä. Motorisoidussa panoraamapäässä käyttäjän tulee määrittellä halutut kuvaominaisuudet, kuten kuvien määrä (määrittelee kuvan tarkkuuden) ja horisontin rajat, ohjelmiston kautta, minkä jälkeen panoraamapää ottaa kuvat automaattisesti. [18.] Mitä enemmän kuvia otetaan, sitä kauemmin kuvaamisprosessi luonnollisesti kestää. Järjestelmäkameran ja panoraamapään lisäksi 360-kuvauksiin tarvitaan yleensä erillinen kamerajalusta.

2.4 Parsiminen

360-tuotannossa parsimisella (stitching) tarkoitetaan useiden taltioitujen valokuvien yhdistämistä yhdeksi suureksi kuvakokonaisuudeksi, jota voidaan tarkastella 180 x 360 asteen alalla 360-toistimella. Tyypillinen 360-parsimislogiikka kuva-alueittain on esitetty kuvassa 6. Parsimiseen käytettyjen kuvien määrä vaihtelee käytetyn kamerasen, objektiivin,

panoraamapään ja kamerakaluston asetusten mukaan. Insinööriyön aikana taltioitu yksittäinen tilakuva koostettiin 77–105 yksittäisestä otoksesta.



Kuva 6. 360-panoraaman parsimislogiikka [47].

Parhaan lopputuloksen takaamiseksi tulisi kaikkien käytettävien kuvien olla samoilla kamera-asetuksilla ja samoissa valo-olosuhteissa otettuja. Kuvia parsiessa tulee ottaa myös huomioon kuvauksessa käytetyn kamerajärjestelmän linssin aiheuttamat vääristymät. Monet ainoastaan 360-kuvaukseen tarkoitettut kamerajärjestelmät parsivat panoraamakuvat automaattisesti. [12.]

Parsimiseen on olemassa useita automatisoituja ohjelmistoratkaisuja. Parsimisohjelmistoon ladataan kuvasarja, josta panoraama tai 360-otos halutaan koostaa. Ohjelmistossa käyttäjän tulee määritellä kuvan parsimiseen käytettävä logiikka riippuen kuvan käyttötarkoituksesta. Erilaisia parsimislogiikan tyyppisiä ovat esimerkiksi laajakuva-, lieriö- ja pallomallinnus [47]. Ohjelmisto tunnistaa kuvista pistearvoja, jotka esiintyvät useammissa kuvissa, ja osaa näin yhdistää kuvat keskenään oikein. Tästä syystä

panoraamakuvien täytyy sisältää noin 25–35 %:n verran päällekkäisyyttä keskenään, jotta ohjelmisto saa tarpeeksi pistearvoja ja kuvat voidaan yhdistää kokonaisuudeksi. [13.]

Kuvien parsimisen epäonnistumiseen tai virheiden esiintymiseen voi olla monia eri tekijöitä, kuten liian vähäinen overlap-arvo, kuvavääristymät, kamerajärjestelmän parallaksi, yksityiskohtien puute kuvassa, liikaa toistuvat yksityiskohdat ja ohjelmiston parsimisalgoritmin puutteellisuus. Overlap on päällekkäisten kuvasektoreiden alue, joka antaa parsimisohjelmistolle yhteneväisiä kuvapisteitä, joiden avulla kuvat yhdistetään toisiinsa oikein. Kuvan vääristymistä aiheuttavat usein huonolaatuiset tai liian laajat kameralinssit ja objektit liian lähellä kameraa. Kuvassa esiintyvät liian vähäiset tai liialliset yksityiskohdat voivat myös johtaa ohjelmiston parsimisalgoritmin toiminnan epäonnistumiseen. [50.]

Monet parsimisohjelmit korjaavat kuvasta automaattisesti kuvavirheitä, kuten linssi-vääristymiä. Parsimista voidaan parannella myös manuaalisesti, ja esimerkiksi horisonttiarvoja korjaamalla pystytään korjaamaan kameralinssin aiheuttamia vääristymiä. Liikkuvat kohteet aiheuttavat panoraamakuviin virheitä, sillä parsimisohjelmisto ei löydä vastaavia pistearvoja panoraaman kuvasarjasta. [14.]

Parallaksiefekti on panoraamavalokuvauksessa esiintyvä kuvavirheen tyyppi. Sitä esiintyy usein monikamerajärjestelmillä 360-sisältöä tallennettaessa, kun kamerajärjestelmän objektiivi ei pyöri täydellisesti kameralinssin entrance pupilin ympäri, jolloin kameraan nähden lähellä ja kaukana sijaitsevat objektit liikkuvat kuva-alalla [13]. Parallaksiefekti näkyy parsituissa 360-medioissa yleensä haamukuvina (ghosting) ja katkeilevina linjoina, jotka rikkovat illuusion yhdestä kuvakokonaisuudesta. Ehjän kuvakokonaisuuden säilyttäminen 360-kuvissa on ensisijaisen tärkeää, ja etenkin VR-laitteilla 360-materiaalia tarkasteltaessa virheet on erittäin helppo huomata ja virtuaalisen todellisuuden immersivisyys on pilalla. Haamukuvat ilmenevät 360-kuvissa kaksoiskuvina. Myös liike kuvassa voi aiheuttaa haamukuvia. Parallaksiefektin aiheuttamia virheitä panoraamakuvasarjassa on havainnollistettu kuvassa 7.



Kuva 7. Parallaksiefektin aiheuttama virhe panoraamakuvassa [16] ja liikkuvasta objektista aiheutunut haamukuva [49].

Parallaksin esiintymisen todennäköisyys kuvissa lisääntyy, jos 360-kuvia taltioidaan pienissä tiloissa tai jos kameran välittömässä läheisyydessä esiintyy objekteja, jotka liikkuvat suhteessa kameran liikkeeseen. Lisäksi ohjelmistojen suorittama kuvien automatisoitu parsiminen saattaa epäonnistua ja on manuaalisesti haastavaa korjata. [15.]

Parallaksiefektin esiintymistä kuvissa voidaan vähentää määrittämällä kamerajärjestelmän NPP. Se on piste, jossa kamera pyörii täydellisesti entrance pupilin ympärillä eikä parallaksiefektiä pääse syntymään. NPP-pisteen määrittäminen on havainnollistettu kuvassa 8.



Kuva 8. NPP-piste määritetään liikuttamalla kameran solmupistettä [13].

Käytännössä NPP on määritettävissä panoraamapäissä, joissa kameran sijainnin säätö on sallittu. Kameran etsinkenttään asetetaan kaksi objektiä: yksi objekti lähelle kamerajärjestelmää ja toinen kauas kamerajärjestelmästä. Kameraa siirretään eteen- tai taaksepäin, kunnes objektit eivät liiku etsinkentässä suhteessa toisiinsa. [13.]

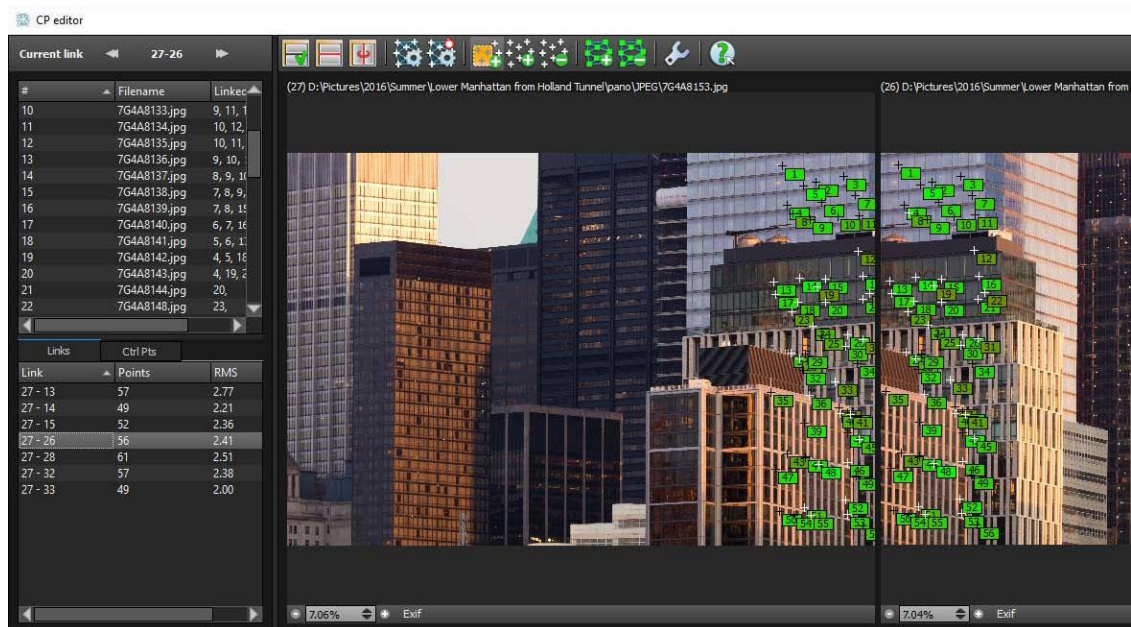
2.5 Ohjelmistot

Parsimiseen ja VR-käsittelyyn tarkoitettuja ohjelmistoja on markkinoilla useita kymmeniä, ja osa ohjelmistoista on ilmaisia. Maksullisten ohjelmistojen lisenssimaksut vaihtelevat välillä 30–1000 €, ja osa perustuu kuukausi- tai vuosimaksulliseen lisenssitilaukseen. Ohjelmistojen ominaisuudet vaihtelevat laajasti, ja vain pieni osa ohjelmista tarjoaa esim. kehittyneitä värikorjausta ja HDR-muunnosta (high dynamic range). [20.]

Vuonna 2004 perustettu Kolor on panoraamateknologioihin erikoistunut ranskalainen ohjelmistoyritys. Sen ohjelmistot sisältävät kehittyneitä algoritmeja panoraamakuvien

pistetunnistukseen. Kolor on julkaissut useita panoraamateknologiaan perustuvia ohjelmistoja, kuten Kolor Autopano Panotour, Kolor, Kolor Autopano Giga ja Kolor Autopano Video Pro. Kameravalmistaja GoPro osti Kolorin vuonna 2015. [21.]

Kolor Autopano Giga on Kolorin kehittämä parsimisohjelmisto panoraamakuville. Ohjelmisto on graafinen käyttöliittymä, joka käyttää Krpano-ohjelmistojen lähdekoodia ohjelmistopohjana. Autopano Giga mahdollistaa 360-materiaalin parsimisen, parallaksivirheidien korjaamisen pistetunnistuksen kautta, kehittyneen värikorjauksen ja linssien aiheuttamien horisonttilinjojen suuntakorjauksen. [22.] Kolor Panotour Video Pro mahdollistaa 360-materiaalin videoeditoinnin Autopano Gigan kautta parsittujen kuvatiedostojen pohjalta [23]. Kuvassa 9 on nähtävissä havainnollistus Autopano Gigan käyttöliittymän ulkoasusta ja pistetunnistuksen käytöstä.



Kuva 9. Kolor Autopano Giga -parsimisohjelmisto [24].

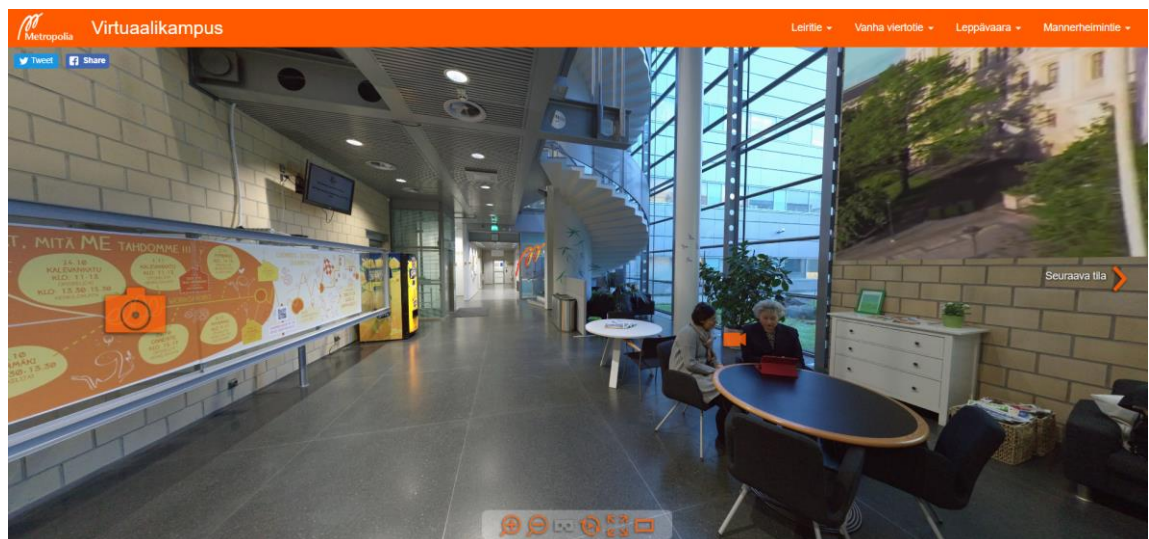
Kolor Panotour Pro on virtuaalimatkojen luomiseen ja julkaisuun tarkoitettu ohjelmisto. Se toimii rinnakkain Kolor Giga -ohjelman kanssa, jossa Panotourissa käytettävät valokuvamateriaalit parsitaan, korjataan ja editoidaan. Panotour on helppokäyttöinen ja mahdollistaa interaktiivisia toimintoja sisältävien kohdepisteiden, kuvanavigoinnin, 3D-karttojen, web-materiaalin sekä videon ja äänen upottamisen virtuaalimatkaan. [25.] Panotour mahdollistaa myös multiresoluutiolla toteuttavien virtuaalimatkojen luomisen. Multiresoluutioteknologia mahdollistaa panoraaman optimoidun lataamisen tarkennusasteen

mukaisesti. Panotourista on mahdollista luoda valmis, käytettävissä oleva HTML- tai Flash-sivusto. [26.]

3 Virtuaalikampus

Virtuaalikampusta voidaan kuvailla osaksi virtuaalierrokseen liittyviä teknologioita, joilla voidaan luoda toimintoja opiskelijoiden, opettajien ja oppilaitoksissa toimivien organisaation osien välille ilman tarvetta fyysiselle kommunikaatiolle [27, s. 1]. Virtuaalikampus on monikäsitteinen, sillä termillä voidaan tarkoittaa opetusta tarjoavaa oppimisympäristöä tai virtuaalista havainnollistusta koulutuslaitoksen tiloista esim. valokuvien, videoiden, 360-kuvien tai 3D-mallinnusten avulla [28].

Moniulotteisen virtuaalikampuksen ominaisuuksiin voivat kuulua erilaiset opiskeluun käytettävät työkalut, kuten videoluennot, keskustelut opiskelijoiden välillä sekä tehtävien tarjoaminen. Virtuaaliekskursio on virtuaalikampuksen visuaalinen ominaisuus, joka esittelee kampuksen tiloja, historiaa ja interaktiivisia 3D-karttoja. Oppilaitoksen tehokas visuaalinen esittely on erityisen hyödyllinen työkalu tuleville opiskelijoille erilaisten koulujen vertailuun ja oppilaitokseen tutustumiseen. [28.] Havainnollistus projektin aikana kehitetystä virtuaalikampus-sivustosta on nähtävissä kuvassa 10.



Kuva 10. Virtuaalikampuksen työpöytäkäyttöliittymä.

Opetuksen tarjoaminen on yksi virtuaalikampusten mahdollisuuksista. Opetuksen järjestäminen ei ole tällöin sidottu aikaan tai paikkaan, mikä tarjoaa opiskelijoille huomattavasti enemmän joustavuutta ja opintotarjontaa verrattuna perinteiseen opiskelujärjestelmään, jolloin esim. työssäkävien ja perheellisten kouluttautuminen helpottuu. Virtuaalikampuksen kautta toteutettu opetus on myös koulutuksesta vastaaville organisaatioille ja opiskelijoille kustannustehokasta ja vähentää fyysisten tilojen käyttötarvetta ja ylläpitoa. [29.]

3.1 Projektin taustat

Insinööriä toteutettiin Metropolia Ammattikorkeakoululle. Työn tilaaja on nähnyt tarpeelliseksi kehittää oppilaitokselle oman virtuaalikampuksen esittely- ja oppimisympäristökäyttöön. Esittelykäytössä oppilaitoksen eri toimipisteitä voitaisiin esitellä ja tarjota perehdytystarkoituksiin olennaista sisältöä esimerkiksi uusille opiskelijoille tai oppilaitokseen hakeville. Oppimisympäristökäytössä virtuaalikierros mahdollistaisi opetusmateriaalien ja esimerkiksi erilaisten laitteiden perehdyttämisoppaiden jakamisen immerstiivisessä käyttöympäristössä. Virtuaalikampusta voitaisiin myös mahdollisesti käyttää Metropolian markkinointitarkoituksiin. Insinööriä työvaiheen kestoksi määriteltiin kaksi kuukautta.

Insinööriä työvaihe aloitettiin 8.9.2017 suunnittelupalaverilla, johon työn suorittajat ja kontaktihenkilöt osallistuivat. Palaverissa kartoitettiin työn laajuutta, vaatimuksia ja aikataulua. Työn valmistumispäivämääräksi määritettiin 14.2.2018, jolloin virtuaalikampuksen tulisi olla toimintakuntoinen ja esittelyvalmis. Työn edistymistä esiteltiin määräajoin kontaktihenkilöille demoversioilla. Insinööriä työvaihetta seurasi projektin raportointi.

Työ suoritettiin yhteistyössä saman vuosikurssin opiskelijakollegan, Eetu Järvisen, kanssa. Kontaktihenkilöt insinööriä työvaiheen aikana olivat Metropolian digipäällikkö ja Metropolian Leppävaaran toimipisteen mediatekniikan tutkintovastaava. Muita yhteyshenkilöitä työn aikana olivat Metropolian toimipaikkakohtaiset digimentorit, joiden vastualueena oli kuvaustilojen valitseminen, valmistelu ja näyttelijöiden järjestäminen kuvaustilanteeseen. Kommunikointi tapahtui työvaiheen aikana pääasiallisesti sähköpostin välityksellä. Projektityöryhmän sisäinen kommunikaatio suoritettiin pääosin WhatsApp- viestipalvelun ja sähköpostin avulla. Tiedostonsiirtoon ja -tallennukseen käytettiin Metropolian palvelintilaa, Google Drive -pilvipalvelua ja WinSCP-ohjelmistoa.

3.2 Vaatimusmäärittely

Työn laadulliseksi vähittäisvaatimukseksi asetettiin vertailukelpoisuus Visumo Oy:n Metropolia Ammattikorkeakoululle tuottaman oppimisympäristön kanssa. Visumo Oy:n virtuaaliympäristö sisältää erilaisia 360-tilaotoksia, navigointimahdollisuudet otosten välillä, sosiaalisen median toimintoja, painikekäyttöliittymän sekä kohdepisteitä, jotka ovat toiminnallisuuksien aktivoimisen mahdollistavia kuvakkeita ja voivat toistaa mediasisältöä kuten tekstiä ja videota. Visumon Oy:n oppimisympäristö on havainnollistettu kuvassa 11. Työn vaatimuksiksi määritettiin lisäksi, että lopputuote sisältää vähintään 15 360-otosta Metropolian toimipisteistä, ja toimii responsiivisesti mobiili- ja työpöytäympäristöissä.



Kuva 11. Visumo Oy:n oppimisympäristö [30].

Työn tilaaja toivoi, että 360-otoksissa olisi mukana Metropolian opiskelijoita ja opettajia. Metropolian toimipisteiden digimenterit olivat vastuussa opiskelijoiden järjestämisestä kuviin. Opiskelijoiden lavastaminen 360-otoksiin asetti tiettyjä vaatimuksia ja haasteita kuvausprosessiin. Kuvissa esiintymisen tarkoituksena olisi esimerkiksi havainnollistaa erilaisten laitteiden käyttöä luokkatiloissa ja myöhemmin lisätä virtuaalikierroksen otoksiin kohdepisteitä, jotka opastavat opiskelijoita laitteiden käyttöön. Suurissa luokkatiloissa sijaitsevien laitteiden tarkastelu asetti virtuaalikampuksen kuville tarkkuusvaatimuksen ja virtuaalikierroksen toimintoihin vaatimuksen kuvien zoomaukseen.

Virtuaalikampuksen ulkoasun vaatimusmäärittelyyn kuului räätälöity ulkoasu, joka on toteutettu Metropolian graafisen ohjeiston mukaisesti.

3.3 Työn suunnittelu

Työn suunnitteluvaiheessa käytiin läpi erilaisia mahdollisuuksia virtuaalikampuksen toteuttamiseen. Rajallisen ajan puitteissa päätettiin kaluston ja ohjelmistojen käytöstä, joista insinööriyön tekijöillä oli jo entuudestaan kokemusta. Olimme Eetu Järvisen kanssa vuotta aikaisemmin tehneet 360-kuvausta DSLR-kameralla, panoraamapäällä ja Kolor-ohjelmistoratkaisuilla, joten oli mielestämme luonnollinen valinta käyttää samoja työkaluja myös insinööriyön toteutuksessa. Työn suunnitteluvaiheessa oleellisia tehtäviä olivat kaluston hankinta, kaluston määrittely sekä kommunikointi Metropolia Ammattikorkeakoulun digimentoreiden kanssa sopivien kuvauspäivien järjestämiseksi.

Suunnitteluvaiheessa tehtiin kaluston analyysi ja testaus lavastettujen kuvausten onnistumisen takaamiseksi. Kaluston analyysissä määritettiin panoraamapään kanssa käytettävän jalustan valinta, kameraobjektiivin valinta ja panoraamapään ja kameralaitteiston asetusten määrittäminen testikuvilla. Kaluston testauksessa tehtiin HDR-kuvauksen analyysi DSLR-kameran brackets-menetelmällä, jossa kamera taltioi saman otoksen usealla eri valotuksella, jotka yhdistettynä mahdollistavat kuvissa laajemman dynamiikan ja pienentävät kuvavirheitä, kuten kuvan puhkipalamista. HDR-kuvien käytöstä kuitenkin luovuttiin parsimisesta ja HDR-tiedostoformaateista johtuvien rajoitteiden ja ongelmien takia. Projektin kuvausprosessi esitellään luvussa 3.5.

Kuvausten aikataulut määritettiin kuvausten yhteyshenkilöinä toimineiden digimentoreiden tarpeiden mukaisesti. Kuvausten toivottiin alkavan mahdollisimman pian välineistön määrittelyn jälkeen aikataulussa pysymiseksi. Editointiprosessin tiedostettiin jo projektin alussa olevan aikaa vievä työvaihe. Samassa kuvauskohteessa sijaitsevat tilat pyrittiin saamaan kuvattavaksi saman päivän aikana. Tilakuvaukset aloitettiin 27.11.2017, ja niitä jatkettiin yhteensä seitsemän päivän aikana, 26.1.2018 asti. Kuvattaviksi toimipisteiksi määritettiin Leiritien, Vanhan Viertotien, Leppävaaran ja Mannerheimintien toimipisteet.

3.4 Välineistön määrittely

Insinööriyön aikana käytettiin seuraavia kuvausvälineitä:

- DSLR-kamera: Canon 5D Mark III
- kameraobjektiivi: Canon EF 35mm f/1.4 L
- panoraamapää: GigaPan Epic Pro V
- kamerajalusta.

Projektissa käytettäväksi kameraksi valikoitui Eetu Järvisen suorittamien testien jälkeen Canon 5D Mark III -kamera, jonka vahvuuksia olivat sen täysikokoinen kenno, joka mahdollisti kuvauksissa laajan kuva-alan, suuret ISO-arvot vähemmällä kohinalla ja paremmat hämäräkuvausominaisuudet.

Tilakuvauksia varten testattiin laajakuvaobjektiivia ja objektiivia kiinteällä ja säädettävällä polttovälillä. Säädettävän polttovälin objektiiveissa todettiin panoraamapäätä käytettäessä esiintyvän zoom creep -efektiä, jolloin alaspäin suunnatun objektiivin polttovälin säädin valui alaspäin ja pilasi otokset. Zoom creep -ongelma on vältettävissä esimerkiksi LenseBand-kuminauharatkaisulla [31]. Ajallisten rajoitteiden vuoksi projektissa käytettäväksi objektiiviksi valikoitui kiinteän polttovälin Canon EF 35mm f/1.4 L -objektiivi. Eri-laisten objektiivien, kuten laaja-kuvaobjektiivin, todettiin vaikuttavan 360-panoraaman kuvausaikaan.

Projektissa käytettäväksi panoraamapääksi valittiin Gigapan Epic Pro V -panoraamapää. Panoraamapään todettiin käytön aikana olevan helppokäyttöinen, luotettava ja sisältävän kestävän akun, joka on mahdollista vaihtaa nopeasti kuvaustilanteessa. Huonoiksi puoliksi voidaan todeta laitteen paino (3,3 kg) [32], löysyys järjestelmän kiinnikkeissä kiinnitettäessä jalustaan ja wifi tai bluetooth-käyttöisen etäohjauksen puuttuminen. Gigapan Epic Pro V on kuitenkin hinta-laatusuhteeltaan yksi markkinoiden parhaista panoraamapäistä gigapikseli- ja 360-kuvaukseen. Laitteen hinta on insinööriyöraportin kirjoitushetkellä n. 856 € [33].

Panoraamapään ohjelmistoasetuksissa järjestelmän overlap-arvo nostettiin 45 %:iin. Overlap-arvo määrittää kuvattavien sektoreiden päällekkäisyyden, jolloin esimerkiksi liikkeestä aiheutuvat parsimisongelmat ovat helpommin korjattavissa. Overlap-arvon

nostaminen kuitenkin pidentää kuvausprosessin kestoja. Kuva 12 havainnollistaa overlap-ilmion päällekkäisyyttä harmaalla tehostealueella panoraamavalokuvassa. DSLR-kameran, kamera-asetusten ja objektiivin valinta vaikuttaa aina tapauskohtaisesti panoraamapään asetusten, kuten overlap-arvon, määrittämiseen.



Kuva 12. Overlap-alueet panoraamakuvassa [34].

Kamerajärjestelmän NPP määritettiin siirtämällä panoraamapään kelkkaa eteen ja taakse ja samalla ottamalla testikuvia etu- ja taka-alalla esiintyvistä objekteista suhteessa toisiinsa. Kelkan etäisyys määritettiin projektissa käytetyn kameran, aukkosuhteen ja objektiivin kanssa olevan optimaalinen 85 mm:n etäisyydellä, jolloin parallaxiefektiä ei esiinny kuvissa. 85 mm:n kelkka-asennon todettiin myös olevan kelkan äärimmäinen etäisyys, ennen kuin kelkan kiristysruuvi ottaa fyysisesti kiinni panoraamapäähän ja aiheuttaa fyysistä vahinkoa järjestelmään.

Kuvauksissa käytettäväksi jalustaksi pyrittiin valitsemaan mahdollisimman kapeajalkainen jalusta. 360-taltioinnissa jalustan näkyminen on yleisesti tiedostettu ongelma, mutta kapeajalkaisen jalustan valitseminen vähentää kuva-alaa, jonka jalustan jalat täyttävät. Jalusta valitsemisessa otettiin myös huomioon jalustan tukevuus, koska panoraamapää on painava.

Kuvausprosessin nopeuttamiseksi laitteiden akut ja vara-akut ladattiin edeltävänä päivänä. Projektia varten hankittiin myös tehokas kannettava tietokone, joka mahdollisti datan käsittelyn, varmuuskopioinnin ja parsimisen kuvauskohteissa otoksen onnistumisen takaamiseksi.

Kamera-asetukset määritettiin kameran manual-tilassa, joka mahdollistaa kaikkien asiantuntijoille tarkoitettujen asetusten säädön. Kameran AF-toiminto otettiin pois käytöstä, jotta kamera ei tarkentaisi automaattisesti erikseen jokaista otosta, mikä vaikuttaisi yhtenäisotoksen tarkennuskenttään. Datan pakkauksen aiheuttaman häviön välttämiseksi kuvien tiedostoformaateiksi määritettiin kamera-asetuksista RAW.

Syvyyssefekt ja bokeh ei ole 360-kuvissa yleensä toivottavaa, sillä se aiheuttaa epätarkkuutta eri etäisyysalueilla sijaitseviin objekteihin ja pahimmillaan parsimisongelmia. Mitä pienempi kameran aukon koko on, sitä terävämpi on myös kuvan syvyysterävyysalue taka-alalle asti. Kuvan syvyysterävyyteen vaikuttaa aukon koon lisäksi objektiivin polttoväli. Aukon koko säätelee myös kameran kennolle pääsevän valon määrää, joka vaikuttaa kuvan valotukseen.

Virtuaalikampanuksen käyttötarkoitukseen kuvien haluttiin olevan mahdollisimman tarkkoja ja yksityiskohtaisia. Testikuvauksissa aukon koko määritettiin kuvattaviin tiloihin sopivaksi DOF-laskentasovelluksella. Sovellukseen syötettiin kameran aukon koko, objektiivin polttoväli ja kuvattavan kohteen etäisyys, jolloin sovellus laski tarkkuussyvyyden etäisyyden. Projektin aikana kuvatuissa tiloissa lähimmän objektin etäisyys sijaitsi usein 1,5 - 2 m:n etäisyydellä, jolloin aukon koon F11 koettiin olevan sopiva läheisten ja kaukaisten objektien yksityiskohtaiseen esitykseen kuvassa.

Kameran aukon koko F11 määritteli muiden kamera-asetusten, kuten suljinajan ja ISO-arvon, valinnan. Kuvista pyrittiin saamaan mahdollisimman valovoimaisia ilman valolähteiden aiheuttamaa puhkipalamista. Suljinajan määrittelyssä kuvissa mahdollisesti esiintyvää liikettä pidettiin projektin suunnitteluvaiheessa ongelmallisena nopeiden liikkeiden aiheuttamien kuvan sumentumien takia. Suuri suljinaika päästää enemmän valoa kameran kennolle, mutta liikkeen aiheuttama sumennus on tällöin suurta. Vastaavasti pieni suljinaika takaa hyvän liikkeenpysäytyksen, mutta kuvien valovoima saattaa olla puutteellista. Kuvaukset kuitenkin päädyttiin suorittamaan pääosin lavastetuissa tilanteissa, joissa näyttelijöitä pyydettiin olemaan kuvausten ajan paikallaan, jolloin suljinajalla ei liikkeen kannalta ollut väliä. Projektin aikana suoritetuissa kuvauksissa päädyttiin käyttämään useimmiten suljinaikaa 1/60. Suljinaikaa saatettiin kuitenkin muuttaa kuvaustilassa vallitsevan valaistuksen mukaan ja ISO-arvoa nostettiin viimeisenä, jos kameran kennolle pääsevän valon määrää täytyi kompensoida.

3.5 Kuvausprosessi

Insinööriyötä varten laadittu virtuaalikampuksen prototyyppi toteutettiin 360 asteen still-kuvilla. Projektin kuvauksia tehtiin neljässä eri Metropolian toimipisteessä seitsemän päivän aikana. Yhtä panoraamajärjestelmällä taltioitua otosta varten tallennettiin 77–105 kuvaa. Yhteensä kuvausprosessin aikana otettiin 2 712 erillistä kuvaa, joista rakennettiin 30 erillistä tilakuvaa. Tarkat tiedot kuvauspäivistä, toimipisteistä, tiloista ja kuvamääristä ovat luettavissa liitteestä 1.

Kuvausprosessi aloitettiin analysoimalla kuvattava tila. Osa virtuaalikampusta varten kuvattavista tiloista oli avoimia tiloja ja osassa tiloista esiintyi erilaisia kuva-alan peittäviä obstruktioita kuten sermejä, pöytiä ja pylväitä. Obstruktioita sisältävistä tiloista jouduttiin ottamaan tällöin useampia otoksia, jotta kaikki tilan yksityiskohdat, kuten erilaiset laboratoriolaitteet saatiin taltioitua.

Optimaalisen otoskohdan valinnassa kamerajärjestelmä pyrittiin yleensä sijoittamaan mahdollisimman keskelle tilaa ja välttämään välittömässä läheisyydessä, noin 1,5–2 m:n säteellä, sijaitsevia objekteja. Myös tilassa toimivan opettajan tai toimipisteessä toimivan digimentorin mielipidettä tiedusteltiin tilassa olleiden laitteiden halutusta sijoittelusta kuvassa. Esimerkiksi bioanalytiikan laboratorioiden laitteiden haluttiin olevan kuvaustilanteessa hyvin näkyvillä virtuaalikampuksen jatkokehitykseen liittyvää opastusmateriaalia varten.

Tiloja kuvattaessa tuli ottaa huomioon tilojen valaistus. Yleisesti luokkatilat ovat hyvin valaistuja, mutta projektin tarpeisiin osassa tiloista jouduttiin tekemään muutoksia. Suorat valopisteet tai esimerkiksi kirkas auringonvalo ikkunoista aiheuttavat helposti kuva-alueiden puhki palamisen, joten valolähteet pyrittiin minimoimaan kuvaustilanteessa. Eri-tyisen haasteellisiksi projektin aikana osoittautuivat bioanalytiikan laboratoriot, joiden pöytätaasoja valaisivat kiilamaiset lamput. Yhden otoksen katsottiin olevan käyttökelvoton projektin vaatimusmäärittelyihin nähden.

Osa kuvattavista tiloista oli myös hämärämpiä tai nojasi luonnonvaloon. 360-kuvauksessa lisävalaistuksen sijoittaminen ei ole validi vaihtoehto, sillä lisävalojen, johtojen ja muun ammattilaiskuvauskaluston sijoittaminen näkyisi myös 360-kuvassa. Tilojen hämäryyttä pyrittiin kompensoimaan säätämällä tilannekohtaisesti kameran valotusaikaa ja

ISO-arvoa. ISO-arvon nostaminen saattoi kuitenkin aiheuttaa kuvaan rakeisuutta. Liiallisen tai liian vähäisen valon aiheuttamat virheet kuvassa ovat joskus korjattavissa kuvan jälkieditoinnissa.

Kameran valkotasapaino asetettiin aina erikseen kuvattavan tilan mukaan ottamalla valkoisesta paperiliuskasta kuva, jonka pohjalta kamera asetti valaistukseen sopivan valkotasapainoarvon. Tilasta tehtiin muutamia testikuvia ennen pääasiallisen kuvausprosessin aloittamista. Panoraamapään asetuksista määritettiin kuvausten alussa otoksen ylin ja alin piste, joka määrittäi kuvattavat sektorit, kuvien määrän ja kuvauksen keston.

Kuvassa esiintyvät opiskelijat sijoitettiin tilassa toimivan opettajan tai digimentorin ohjeiden mukaan sopivasti ympäri tilaa suorittamaan tehtäviä esimerkiksi lavastettuun opetustilanteeseen tai tilan mittauslaitteiden äärelle. Näyttelijät opastettiin etukäteen sektorikuvaamisen suunnasta ja ajoituksesta. Kun kuvaussektori sijoittui tiettyjen henkilöiden kohdalle, heitä pyydettiin olemaan mahdollisimman liikkumatta, kunnes sektorin kuvaaminen oli ohi. Yhden 360-panoraaman taltiointi kesti yleensä noin 10 minuuttia. Kaikkia kuvissa esiintyviä henkilöitä pyydettiin täyttämään kuvausten jälkeen kuvauslupa mahdollisen julkisen virtuaalikampanuksen tekijänoikeuksien takia.

Kahdessa julkisessa kuvaustilassa, Leiritien Megorassa ja Mannerheimintien optikkoliikkeessä, ongelmia aiheuttivat tilan ohi tai läpi kulkevat ylimääräiset henkilöt. Kuvausprosessi pysäytettiin tällöin manuaalisesti ja kuvausta jatkettiin, kun aika oli sopiva.

4 Editointiprosessi

Insinööriyössä käytettiin pääosin Kolor-yhtiön 360-teknologiaa tukeva ohjelmistoratkaisu ja Adoben kuvankäsittelyohjelmistoja. Editointiprosessissa hyödynnettiin seuraavia ohjelmistoja:

- Kolor Panotour Giga (versio 4.4.1)
- Kolor Panotour Pro (versio 2.5)
- Adobe Photoshop (versio CC 2018).

Kuvien jälkieditointiprosessissa käsitelty kuvadata vietiin kansioittain Giga-ohjelmistoon parsittavaksi. Parsimisprosessi suoritettiin Gigan Detection-toiminnolla, jossa ohjelmiston algoritmi etsii kuvista yhteneväisiä pisteitä ja luo linkkejä kuvien välille. Ohjelma ilmoittaa tällöin kuvien välisten linkkien laadun numeraalisella arvolla. Kuvien automaattinen parsiminen toimi projektin aikana suurimmaksi osaksi oikein. Detection-asetusten säätö mahdollisti määritettävien kuvapisteiden ja tunnistamisen laadun lisäämisen, mikä saattoi ratkaista parsimisongelmia, mutta lisäsi huomattavasti parsimisen ajallista kestoa.

Parsimisen jälkeen kuvaa jatkoeditoitiin Gigassa suoristamalla manuaalisesti kuvan horisontti ja otoksen pystylinjat Vertical lines -työkalun avulla piirtämällä. Kun kuvan parsimiseen ja yleisilmeeseen oltiin tyytyväisiä, kuva renderöitiin ulos ohjelmasta TIFF- tai PSB -tiedostona.

Parsimisprosessin valmistuttua kuvatiedosto avattiin Photoshop-ohjelmistossa. Kuvaan tehtiin automaattikorjaukset kontrastiin, kirkkauteen ja väreihin, minkä jälkeen kuvan käyrät ja tasot editoitiin manuaalisesti. Tämän jälkeen kuvasta vähennettiin kohinaa ja kuvasta mahdolliset johtuvat virheet, kuten peilistä tai ikkunasta heijastuva kamerajärjestelmä, poistettiin. Havainnollistava vertailu käsittelemättömästä ja käsitellystä otoksesta on nähtävissä kuvassa 13.



Kuva 13. Editoimattoman ja editoidun kuvan rinnakkaisvertailua.

Tarvittaessa kuvaa editoitiin vastaamaan muita samoista tiloista taltioituja otoksia, ja kaikkien projektin kuvien yleinen kirkkaus-, kontrasti ja värimaailma pyrittiin pitämään

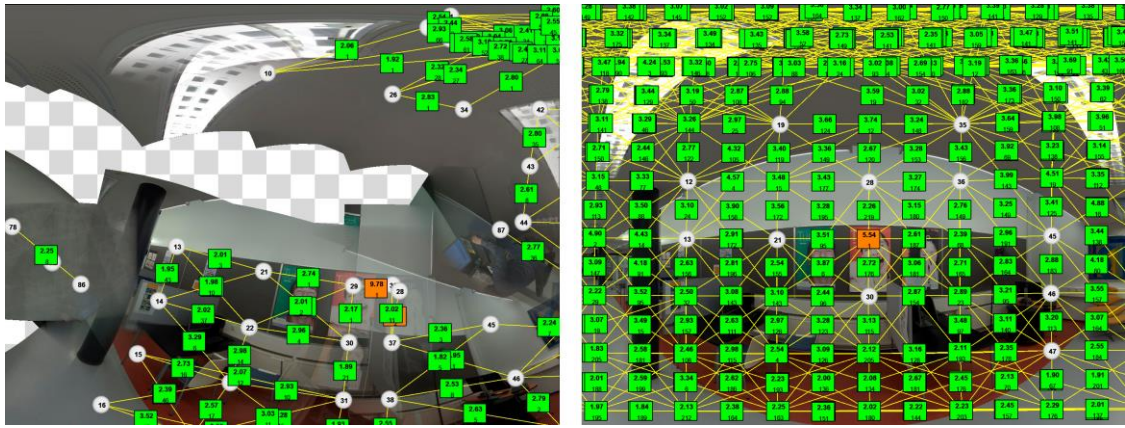
yhteneväisenä. Valmis kuva renderöitiin ohjelmasta ulos PSB- tai TIFF-tiedostoformaattissa.

4.1 Parsimisongelmat

Monia syitä epäonnistuneeseen parsimiseen ilmeni projektin aikana, eivätkä syyt aina olleet yksiselitteisiä. Satunnaisissa ongelmatapauksissa ohjelmista ei tunnistanut kuvien olevan edes samasta kokonaisuudesta. Parsimisen havaittiin epäonnistuvan useimmiten valokuvissa, joissa

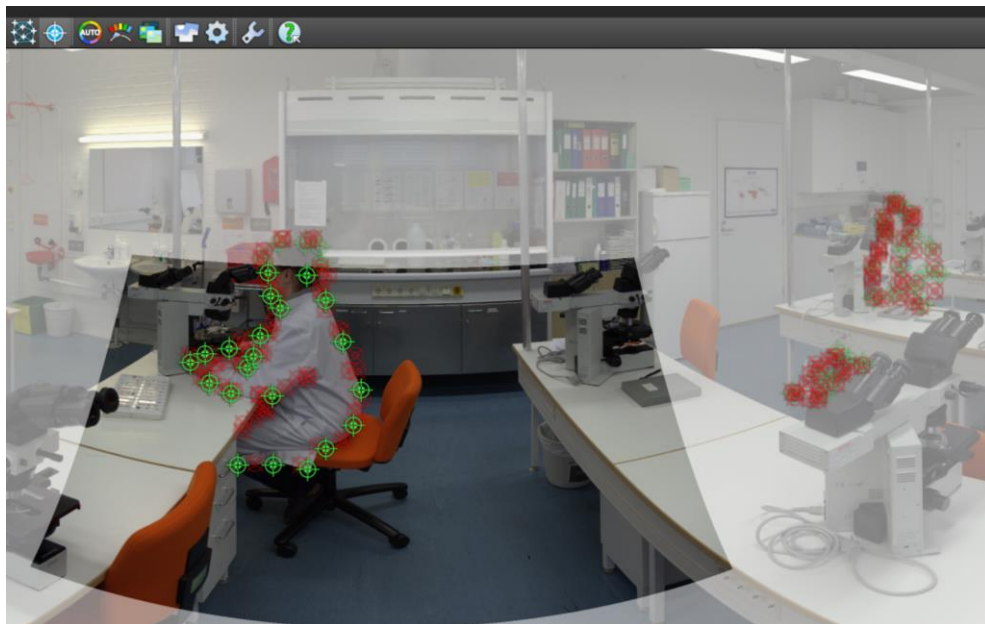
- tilan väritys on monotoninen
- objektit, kuten tilan katto, ovat liian lähellä kamerajärjestelmää
- tilassa on esimerkiksi seinissä tai katossa tiheää yksityiskohtaista kuviota
- tilassa ei ole tarpeeksi yksityiskohtia
- tilassa on suoraan kameraan osoittavia valonlähteitä.

Kaikkien edellä mainittujen ominaisuuksien voidaan olettaa sekoittavan Giga-ohjelmiston tunnistusalgoritmin. Kolorin dokumentaatiosta ja verkkofoorumeilta löytyviä korjausprosesseja sovellettiin projektin aikana ilmenneisiin parsimisongelmiin: Control Points- ja Detect Quality -arvoja nostettiin, mikä monissa tapauksissa korjasi parsimisvirheitä. Edellä mainitut toiminnot nostavat ohjelmiston tunnistusalgoritmissa käytettävää laatua ja pisteiden määrää, jolloin myös tunnistusprosessin kesto kasvaa. Erittäin vaikeisiin parsimisongelmiin sovellettiin onnistuneesti Geometric Analysis -nimistä toimintoa, joka on useita tunteja kestävä ja huomattavasti järjestelmäresursseja vaativa tunnistusprosessi. Geometry Analysis -toiminnon vaikutus epäonnistuneen kuvan parsimisessa on esitetty kuvassa 14. Mikäli parsimistoiminto ei tunnistanut esimerkiksi valkoista seinää kuvakokonaisuudesta, voitiin irralliset kuvat sijoittaa panoraamaan manuaalisesti.



Kuva 14. Vertailukuva epäonnistuneesta kuvan parsimisesta ja Geometry Analysis -korjaustoiminnon tulokset.

Parsituissa kuvissa esiintyi verrattain vähän näyttelijöiden liikkeestä johtuneita parsimisvirheitä sektoreiden kuvarajoilla. Muutamissa kuvissa esiintyneet liikkeen aiheuttamat haamukuvat korjattiin Giga-ohjelmiston masking-toiminnolla, mikä oli mahdollista kuvausprosessissa käytetyn suuren overlap-arvon ansiosta. Masking-työkalu, jonka toimintaa on havainnollistettu kuvassa 15, mahdollistaa kuvapisteiden määrittämisen, jolloin kuvasta voidaan poistaa tai siihen voidaan lisätä alaa eri kuvasektoreilta.



Kuva 15. Masking-toiminnon käyttö haamukuvien korjaamisessa.

Parsimisvirheiden korjaaminen on ajallisesti vaativa prosessi. Projektin aikana parsimisongelmilta kuitenkin vältyttiin useimmissa tapauksissa onnistuneesti huolellisen välineistön määrittelyn ja testauksen ansiosta. Kuvaustilanteissa näyttelijöiden lavastus ja ohjeistus olemaan liikkumatta vähensi huomattavasti liikkeen aiheuttamia haamukuvia ja masking-työkalua jouduttiin käyttämään vain muutamassa kuvassa. Automaattisen parsimisen prosessi Giga-ohjelmistossa epäonnistui täydellisesti vain yhdessä tilakuvassa (kuva 14). Pieniä parsimisvirheitä on kuitenkin usein mahdollista löytää laadukkaistakin 360-kuvista kuvasektoreiden rajoilla.

4.2 Sivuston toteutus

Sivuston toteutus aloitettiin analysoimalla virtuaalikampuksen vertailukohteenä olleen Visumo Oy:n oppimisympäristön ominaisuuksia. Visumon virtuaaliympäristön ulkoasu sisältää navigointipalkin, joka mahdollistaa tilan vaihtamisen esikatselukuvan kautta. Lisäksi navigointi otoksen sisältä seuraavaan on mahdollista kohdepisteiden avulla. Kohdepisteiden sisältöpisteet, joiden kautta on mahdollista avata kuva-, video- tai tekstimediaa, tuovat oppimisympäristön aspektin Visumon tuotokseen. Sivuston sivupalkissa on myös pikavalikkomoduli, jonka avulla voidaan käyttää työkaluja kuten Moodlea, Metropolian OMAa, Pinterestiä, Facebookia ja Google Classroomia.

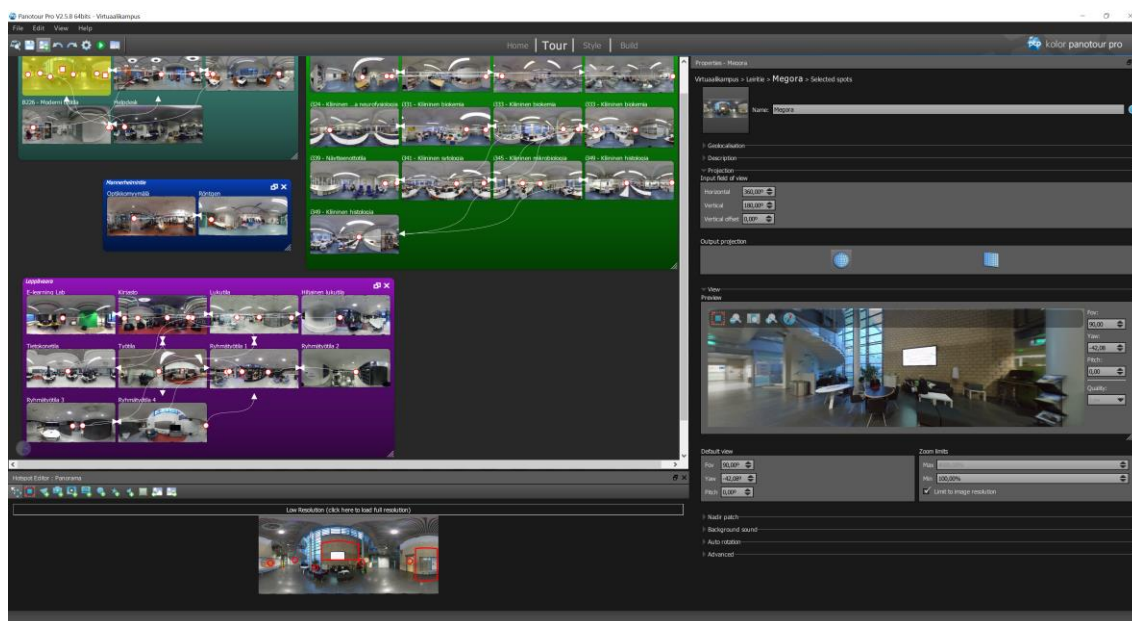
Sivuston toiminnallisuuksien suunnittelu aloitettiin yksinkertaisella mockup-suunnittelulla paperille. Toiminnallisuuksissa haluttiin priorisoida lineaarista käyttöliittymää, jossa lopukäyttäjän tulee käyttää mahdollisimman vähän painalluksia halutun toiminnon suorittamiseksi. Virtuaalikampuksen vaatimusmäärittelyn mukaisesti sivuston haluttiin toimivan responsiivisesti työpöytä- ja mobiiliympäristöissä, mikä asetti erilliset ehdot käyttöliittymien vaatimuksille.

Sivusto on responsiivinen virtuaalikierron Metropolian neljältä eri toimipisteeltä, ja se on käytettävissä työpöytä- ja mobiiliympäristöissä. 360-kuvaa on mahdollista liikuttaa hiirollä ja kosketuksella sitä tukevissa laitteissa. Sivuston ominaisuuksiin lukeutuvat pikanavigointiin soveltuva navigointipalkki pudotusvalikoineen, ohjaukseen käytettävä toimintomoduli ja sosiaalisen median painikkeet. Navigointi toimipisteen sisällä on mahdollista myös kohdepisteiden, toimintoja suorittavien visuaalisten kuvakkeiden, kautta.

Sivuston oletussivulle on koottu esittelytarkoituksiin erilaisia mediasisällön toiston mahdollistavia kohdepisteitä.

4.3 Panotour-ohjelmisto

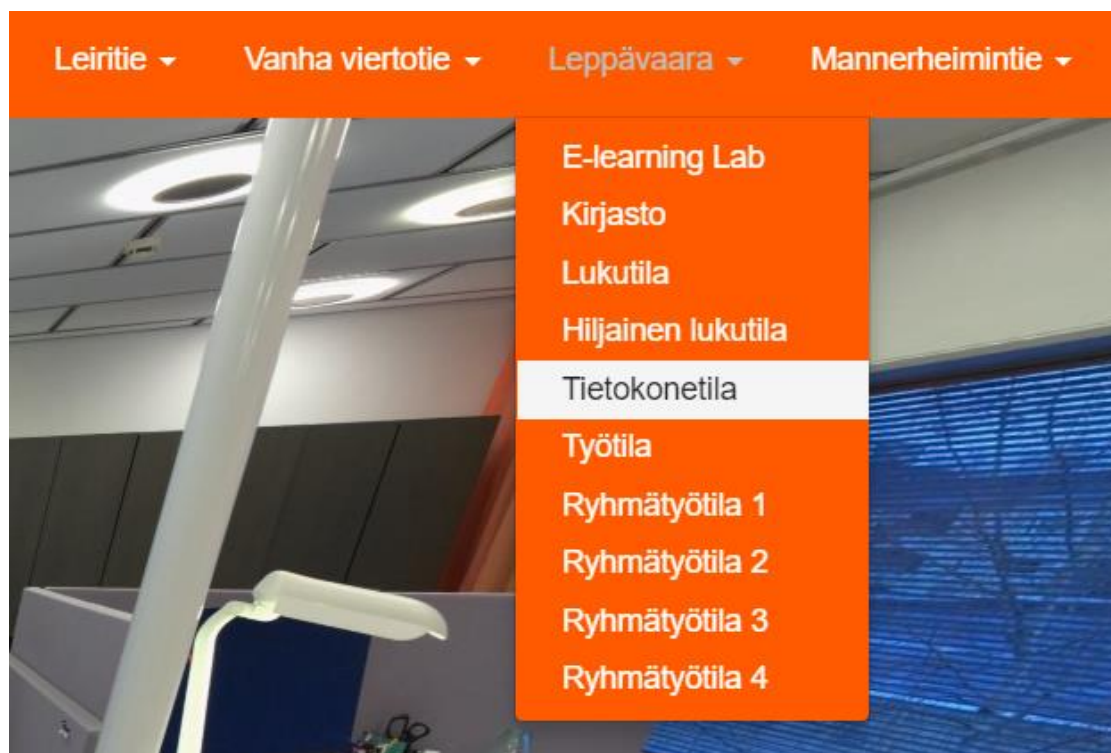
Kolor Panotour on virtuaalikerrosten kehittämiseen tarkoitettu ohjelmisto. Se koostuu neljästä eri osiosta: Home-, Tour-, Style- ja Build-välilehdistä. Home-osio on projektinhallintaa varten. Tour-välilehdessä virtuaalikerrokseen tuodaan 360-kuvat ja määritetään kohdepisteiden ominaisuudet, kansiorakenteet, projektion tyyppi, katselukulmat, rotaatio, nadir-patch, geolokalisointi, tarkennuksen asetukset ja taustääänet. Style-osiossa voidaan muokata kohdepisteiden ja mediatoistinten graafista tyyliä ja lisätä virtuaalikerrokseen erilaisia moduuleita apuohjelma-toimintojen kautta. Build-osio mahdollistaa sivuston index-tiedoston määrittämisen, Flashin käytön, HTML-mallin valitsemisen, multi-resoluution asetukset, sivuston turvallisuuden määrittäykset, FTP-asiakasohjelman käytön, lokalisoitiasetukset ja JPEG-kuvien laadun valinnan. Ohjelmiston Tour-osio virtuaalikampuksen kansiorakentein ja kohdepistelinkityksin on esitetty kuvassa 16.



Kuva 16. Panotour-ohjelmiston Build-osio.

Panotour-ohjelmisto mahdollisti virtuaalikerroksen HTML-sivuston määrittelyn, kohde-, video- ja kuvapisteiden luonnin ja mukauttamisen graafisen käyttöliittymän kautta.

Virtuaalikerroksessa käytettävät 360-kuvat tuotiin Panotour-ohjelmiston Tour-osioon TIFF- tai PSB-formaatissa. Virtuaalikerroksen rakenne suunniteltiin Tour-osiossa kansiorakenteiltaan toimipisteittäin. Toimipisteiden tilat sijoitettiin alarakenteisiin, jotka ovat avattavissa sivuston navigointipalkin kautta pudotusvalikkotoiminnolla. Havainnollistus pudotusvalikosta on nähtävissä kuvassa 17.



Kuva 17. Navigointipalkin pudotusvalikko mahdollistaa nopean tilan vaihtamisen.

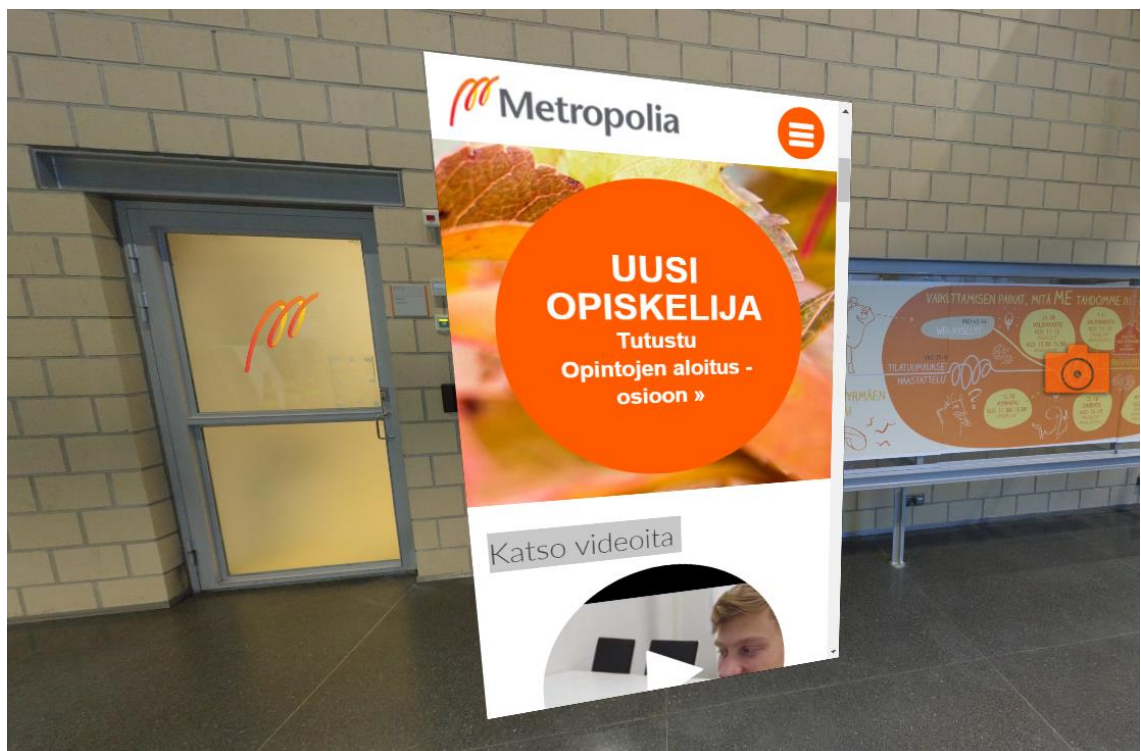
Kohdepisteet (hotspot) ovat Panotour-ohjelmiston työkalu toiminnallisuuksien lisäämiseksi virtuaalikerrokseen. Kohdepiste on yleensä virtuaalikerroksen 360-kuvaan sijoitettava graafinen elementti, jota painamalla kohdepisteelle määritetty toiminto, kuten toiseen 360-kuvaan navigointi, median toistaminen tai URL-linkin avaaminen, aktivoituu.

Koska kaikkia toimipisteiden tiloja ei projektin puitteissa taltioitu, ei kohdepisteillä tilasta tilaan siirtymistä voitu toteuttaa todenmukaisesti. Virtuaalikerroksen esittelytarkoituksia varten kohdepistesiiirtyminen kuitenkin toteutettiin, vaikkei esimerkiksi tietyn oven kautta ollut todellisuudessa suoraa kulkua tilaan, johon oltiin siirtymässä. Tour-osion kautta kaikille otoksille määritettiin erikseen katselusuunta, joka aukeaa oletuksena tilan aktivoituessa.

Kohdepisteiden sijainnit ja tyypit määritettiin Panotour-ohjelmiston Tour-osiossa ja niille tehtiin seuraavia toiminnallisuuksia:

- navigointipiste
- kuvapiste
- videopiste
- URL-linkkipiste
- leijuva URL-elementti
- leijuva videoelementti
- leijuva kuvaelementti.

Otosten välillä navigointi edellytti kohdepisteen linkitystä haluttuun tilaan. Navigoimisella tilasta toiseen haluttiin luoda käyttäjälle immerstiivinen kokemus todellisesta tilakokonaisuudesta, jolloin tilasta voidaan oven kautta siirtyä seuraavaan tilaan ja palata edelliseen tilaan samalla logiikalla. Sivuston aloitussivulle sijoitettiin esittelytarkoituksessa erilaisia toimintoja edustavia kohdepisteitä, joiden esimerkkejä on havainnollistettu kuvassa 18.



Kuva 18. Erilaisia toiminnallisuuksia mahdollistavia kohdepisteitä: navigointipiste, URL-elementti ja kuvapiste.

Kohdepisteiden tyylillinen mukauttaminen toteutettiin ohjelmiston Style-osion kautta Metropolian graafisella tyylillä, ja pisteisiin lisättiin erilaisia tehosteita, kuten animaatiot hiiressä kohdistettaessa, ja mediatoiminnot, kuten sivustolla avatun median koko ruudun tilaan avattaessa, auto play-toiminnot ja ääniasetukset. Navigointipisteiden erillisiksi tehosteiksi määritettiin Style-osion kautta kuvan automaattinen rotaatio kohdistettuun tilaan ja sisään-uloshäivytys.

Kohdepisteille asetettiin erilaisia hover-toimintoja, jotka aktivoituvat, kun tietokoneen osoitinta käytetään pisteen päällä työpöytäympäristössä. Hover-toiminto korostaa kohdepisteen kokoa, vähentää pisteen läpinäkyvyyttä ja näyttää pisteeseen liitetyn tooltip-tekstin, joka kertoo pisteen tarkoituksen, kuten navigointipisteellä seuraavan tilan nimikkeen.

Projektia varten otetuissa kuvissa esiintyi Nadir-alue. Nadir-alueella tarkoitetaan valokuvauksessa pistettä, joka sijaitsee vertikaalisesti kamerajärjestelmän alapuolella [35, s. 4]. Nadir-alue ilmenee 360-otoksissa usein kamerajärjestelmän ja jalustan näkymisenä kuvassa tai reikänä, jos kuva-alue on rajoitettu kuvaustilanteessa. Kuvaustilanteissa määritimme kuva-alueen loppumaan kamerajalustaan, joten 360-kuvissa esiintyi reikä kuvan alaosassa. Reiän poistamiseksi toteutettiin kaksi eri vaihtoehtoa: kuvan ala-alueen pois rajaaminen, jolloin sivuston käyttäjän katselualaa rajoitetaan, ja nadir-patchin käyttö, jossa ala-alueen reikä täytetään halutulla kuvalla. Virtuaalikampuksen loppuversiossa päädyttiin käyttämään nadir-patchia, joka on mukautettu Metropolian logo. Esimerkki nadir-patchista on esitetty kuvassa 19.



Kuva 19. Nadir-patch peittää kuvasta reiän tai jalustan näkymisen.

Otosten vakiokatselusuunnat, eli virtuaalikerroksen ensimmäisenä avaamat suunnat 360-kuvista, määritettiin Tour-osiossa tilasta parhaan yleiskuvan antaviin ja käyttäjää parhaiten palveleviin suuntiin, kuten seuraaviin tiloihin johtavia kohdepisteitä tai media-pisteitä kohti. Virtuaalikerrokselle annettiin myös ominaisuus käyttäjistä riippumattomaan kokonaistilan esittelyyn 360-rotaatiolla, joka voisi toimia tehokkaasti esimerkiksi Digital Signature -käytössä aulatiloiissa.

360-kuvien sivulatauksen aikana tapahtuvan renderöinnin vuoksi haluttiin virtuaalikerrokseen lisätä latausruutu. Latausruuduksi määriteltiin Metropolian tunnus valkoisella taustalla. Latausruutu aktivoituu virtuaalikerroksen ensimmäisessä sivulatauksessa ja tilasta toiseen siirryttäessä. Latausruutu toimii tehokkaana siirtymätehosteena ja lisää Metropolian brändinäkyvyyttä virtuaalikampusta käytettäessä.

Virtuaalikampuksen käytön helpottamiseksi työpöytäympäristössä hiirellä ja mobiililaitteilla lisättiin sivuston alaosiioon valintamoduuli ohjelmiston Style-osiossa. Valintamoduuliin lisättiin tarkennustoiminto (vain työpöytäympäristössä), VR-tila (mobiililaitteille), automaattisen rotaation pysäytys/jatko, koko näytön tila ja moduulin pienennys. Lisäksi sivuston navigointipalkin tuntumaan sijoitettiin Metropolian sosiaalisen median toimintopainikkeet (Facebook ja Twitter).

Panotourin Build-osiossa virtuaalikampukselle määritettiin index-nimike ja sijaintikohde työasemalla, johon sivustodata rakennetaan. Virtuaalikampus toimii ensisijaisesti HTML5-ympäristössä, mutta laajennettua käyttöä varten asetuksista valittiin myös "flash fallback, joka antaa sivustolle mahdollisuuden vaihtaa HTML5-ympäristön Adobe Flashiin laitteen HTML5-tuen puutteen takia tai käyttäjän näin halutessa. Adobe Flashiin vaihtaminen mahdollistaa Panotouriin sisäänrakennettujen graafisten tehosteiden, kuten valopisteisiin sijoitettavien linssiheijastusten, käyttämisen, mikä lisää sivuston immersiota. Adobe Flashin selaintoistin on kuitenkin tietoturvaltaan huono, ja Adobe on ilmoittanut lopettavansa Flashin tuen ja kehityksen [36].

Panotour-ohjelmiston Build-ominaisuuksiin kuuluu 360-kuvien jakaminen useampiin pienempiin kuviin, jotka renderöidään selainympäristössä vain tarvittaessa, jolloin sivuston käyttö on nopeampaa. Build-osiossa määritettiin käyttöön myös sivuston multiresoluution tuki. Multiresoluutiolla JPEG-kuvat optimoidaan suhteessa käyttäjän tarkennuksen tasoon, jolloin suuren kuvan tarkimpia yksityiskohtia ei ladata, ennen kuin käyttäjä tarkentaa kyseisiin kohteisiin, mikä takaa paremman käyttäjäkokemuksen, nopean sivulatauksen ja optimoidun kuvien laadun [37].

JPEG-kuvien laaduksi määritettiin Build-osiossa arvo 9/12. Suuremman JPEG-laadun valitseminen olisi johtanut suurempiin tiedostokokoihin, mikä olisi lisännyt palvelinkapasiteetin tarvetta. Suurempikokoisten tiedostojen lataaminen selainympäristössä olisi kestänyt myös kauemmin, jolloin sivuston käytettävyys erilaisissa verkkoympäristöissä ja esimerkiksi mobiililaitteilla olisi kärsinyt. [37.]

4.4 Ulkoasu

Virtuaalikampuksen ulkoasun toteuttamista lähestyttiin responsiivisuuden ja käyttömuokavuuden ehdoilla. Sivuston ulkoasun koodaamista alkutekijöistä harkittiin, mutta projektin ajallisten rajoitteiden vuoksi projektissa päädyttiin käyttämään Kolor Panotour -ohjelmistoa ja siihen saatavilla olevaa mukautettua Bootstrap-mallia. Bootstrap on yksi maailman käytetyimpiä avoimen lähdekoodin front end -kirjastoja, ja se tarjoaa helposti mukautettavia HTML-, CSS- ja JavaScript-ratkaisuja verkkosivustojen kehitykseen [38]. Projektissa käytetty Bootstrap-malli oli mukautettavissa Metropolian graafista ohjeistoa ja personoitua ulkonäköä vastaavaksi HTML- ja CSS-tiedostoja muokkaamalla.

Odottamattoman ongelmatilanteen projektiin aiheutti Panotour-ohjelmiston logiikka virtuaalikierroksen projektitiedostoja rakennettaessa. Build-toiminto korvasi kaikki Bootstrap-mallin HTML- ja CSS-tiedostoihin manuaalisesti tehdyt muutokset bootstrap-mallin alkuperäisellä koodilla. CSS-ongelma onnistuttiin kuitenkin kiertämään suorittamalla kustomoidun koodin sisältävä tiedosto Bootstrap-mallin CSS-tiedoston jälkeen, mikä korvasi mallin graafisen pohjan mukautetulla ulkoasulla Build-toiminnon jälkeen.

HTML-koodissa navigointipalkissa sijaitsevan otsikoinnin linkitys määritettiin virtuaalikampuksen etusivulle, niin sanottuun sisältöotokseen, joka esittelee sivuston erilaisia mediasisällön toimintoja. Tämä otos on myös virtuaalikampuksen etusivu, joka aukeaa oletuksena käyttäjän avatessa virtuaalikampuksen HTML-sivut. Navigointipalkkiin lisättiin HTML-tiedostossa Metropolian tunnus brändin esiintuomiseksi. Tunnus linkitettiin johtamaan Metropolia Ammattikorkeakoulun kotisivuille. Koska navigointipalkin pohjaväri on oranssi, päädyttiin tunnuksesta editoimaan valkoinen versio, jotta se erottuisi selkeästi pohjaväristä. Tunnus määriteltiin ominaisuuksiltaan responsiiviseksi, jotta se mukautuisi suhteessa käyttäjän näyttöpisteen kokoon ja resoluutioon nähden työpöytä- ja mobiiliympäristöissä. Havainnollistus navigointipalkista työpöytäympäristössä on esitetty kuvassa 20.



Kuva 20. Navigointipalkki työpöytäympäristössä.

Metropolian tunnuksen käyttö ilman tekstiä on Metropolian graafisen ohjeistuksen mukaan kielletty. Kuitenkin esimerkiksi OMA-järjestelmässä käytetään Metropolian tunnusta ilman otsikkoa esimerkiksi navigointipalkissa ja URL-kuvakkeessa [39], joten vastaava tunnus päätettiin ottaa käyttöön myös virtuaalikampuksessa yhteneväisen graafisen ilmeen saavuttamiseksi. Otsikottoman tunnuksen käyttö perusteltiin sivuston käytettävyydellä pienemmillä elementtialueilla ja mukautettaessa mobiiliympäristöön, jolloin tekstin luettavuus olisi vähäistä tai olematonta.

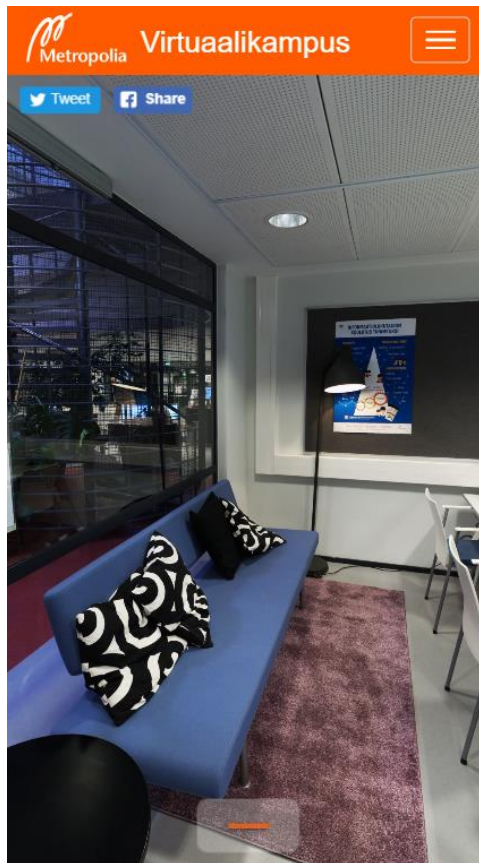
HTML-koodiin määritettiin sivuston favicon-kuvake, joka toimii sivuston visuaalisena tunnisteenä ja näkyy esimerkiksi selaimen välilehdissä ja kirjainmerkeissä. Favicon luotiin Metropolian tunnuksen pohjalta tekstittömänä, läpinäkyvänä versiona, ja kuva

muunnettiin tarkoitukseen sopivaksi kokoon 32 x 32 pikseliä. HTML-tiedostossa määritetään toiminto, jolla haetaan sivuston mukautetut tyylitykset sisältävä CSS-tiedosto, joka suoritetaan Panotourin Bootstrap-mallin CSS-tiedoston jälkeen.

Virtuaalikampuksen visuaalinen ulkoasu toteutettiin Metropolian graafisen ohjeistuksen mukaisesti. Graafinen ohjeisto määrittelee Metropolian visuaalisen linjan, jotta oppilaitoksen kaikki viestintä ja visuaalinen suunnittelu olisi yhteneväistä [40]. Sivuston pääväriksi määriteltiin Metropolian tunnusväri oranssi (#FF5A00) [41], jota käytetään esimerkiksi navigointipalkissa, moduulielementeissä ja kohdepisteissä.

Tekstikirjasimena verkkosivun otsikoinnissa ja kappaleissa käytettiin Arial-fonttia, sillä Metropolian graafinen ohjeisto on määrittänyt fontin käytettäväksi Metropolian verkkosivujen valikoissa ja leipätekstissä. Fontin värityksenä käytettiin pääosin valkoista (#FFFFFF) ja navigointipalkin hover-toiminnoissa Metropolian määrittelemää harmaata (#C0C0C0) [42].

Virtuaalikampuksen työpöytä- ja mobiilikäyttöliittymät haluttiin pitää mahdollisimman puhtaana ja ilman kuvakenttää peittäviä intrusiivisia elementtejä tai moduuleita. Sivuston työpöytä- ja mobiilikäyttöliittymät on havainnollistettu kuvissa 10 ja 21. Navigointipalkki pyrittiin pitämään sivustolla mahdollisimman kapeana, kuitenkin säilyttäen tekstielementtien luettavuus. Kuvasta toiseen siirtymisen mahdollistavat elementit tulevat esiin työpöytäympäristössä vain aluetta hiirellä leijuttamalla. Siirryttäessä työpöydältä mobiiliympäristöön pienennetään navigointipalkin tilavalikko responsiivisesti menu-kuvakkeeksi.



Kuva 21. Virtuaalikampuksen mobiilikäyttöliittymä.

Hiirellä ja kosketusnäytöllä käytettävään toimintomoduuliin lisättiin toiminto *koko ruudun* tilaan, jolloin moduuli pienennetään. Monia sivuston tyylityselementtejä, kuten kohde-, video-, kuva- ja URL-pisteitä, mukautettiin tehokkaasti Panotour-ohjelmiston Style-osion kautta.

4.5 Käyttöönotto ja jatkokehitys

Virtuaalikampuksen toimintoja ja käytettävyyttä testattiin projektiryhmän kesken noin viikon ajan ennen projektin valmistumista. Virtuaalikampus oli valmis luovutettavaksi ennalta sovittuna päivämääränä 14.2.2018, ja palaute projektin kontaktihenkilöiltä oli positiivista. Palvelintilan toimitus kuitenkin myöhästyi, joten sivusto siirrettiin väliaikaisesti opiskelijoiden kotihakemistoon aiemmin toimitetun demon tapaan. Palvelintila saatiin käyttöön 5.3.2018, ja virtuaalikampus siirrettiin palvelintilaan onnistuneesti 6.3.2018

WinSCP-ohjelmiston kautta suoritetun SSH-tunneloinnin välityksellä verkkotunnukseen 360.metropolia.fi.

Projektin ylläpito- ja jatkokehitystoimia varten laadittiin työohjeet, jotka sopivat tieto- ja viestintätekniiikan opiskelijoiden perehdyttämiseen virtuaalikampuksen ylläpitotehtäviin. Työvaiheen prosessit dokumentoitiin seikkaperäisesti, ja dokumentaation pohjalta koostettiin työohjeisto. Työohjeiston tarkoituksena on toimia oppimisvälineenä 360-tuotannossa henkilöille, joilla ei ole aikaisempaa kokemusta 360-teknologian alalta. Työohjeistoon on dokumentoitu suositellun kaluston, kuten kamerajärjestelmien, panoraamapään ja ohjelmistojen, käyttö. Työohjeiston kokoamisessa keskityttiin dokumentoimaan prosesseja ja tilanteita, jotka osoittautuivat erityisen haasteellisiksi ja joiden ratkaisemiseen käytimme insinööriyön aikana huomattavasti aikaa.

Insinööriyön loppuvaiheessa projektin yhteyshenkilöiden kanssa keskusteltiin projektin jatkokehitysmahdollisuuksista. Mielenkiintoa Metropolian digimentoreissa herätti muun muassa virtuaalikampuksen sisällön tuotto, sen lisääminen ja salaaminen. Huolenaiheita yhteyshenkilöillä oli opetussisällön tekijänoikeuksista ja opetusmateriaaliin käsiksi pääsemisestä. Jos opettaja lisää virtuaalikampuksen mahdollisiin oppimisympäristöihin opetusmateriaalia, omistaako opettaja tällöin opetusmateriaalit ja valtuudet opetusmateriaalien poistoon esimerkiksi irtisanoutuessaan työstään?

Lisätessään opetusmateriaalia virtuaalikampuksen tapaiseen internetpalveluun opettaja myy ammattitaitoaan. Laki opettajan tuottaman materiaalin oikeuksista ei ole tällä hetkellä yksiselitteinen, mutta opettajan katsotaan yleisesti omistavan tuottamansa opetusmateriaali, mikäli työsopimuksessa ole toisin määritelty. Opettaja ei myöskään ole velvollinen tuottamaan oppilaitokselle oppimismateriaalia, ellei siitä makseta erillistä korvausta tai jos asiasta ei ole työsopimuksessa erikseen sovittu. [43.]

Jatkokehitykseen liittyvissä keskusteluissa ehdotimme, että virtuaalikampuksesta voitaisiin tulevaisuudessa luoda esimerkiksi kaksi erilaista versiota, joista toiseen pääsy on rajoitettu opiskelijatunnuksin. Opiskelijatunnuksin suojatun version kautta käyttäjä pääsisi käsiksi informaatioon, joka on oleellista opiskelun alettua, kuten opetusmateriaaleihin. Julkiseen versioon pääsy olisi avoin kaikille, mutta sisältäisi vain esittely- ja hakutarpeisiin sopivaa materiaalia. Julkiseen käyttöön soveltuvaa versiota voitaisiin myös

tulevaisuudessa käyttää esimerkiksi PR-käytössä Metropolian toimipisteiden auloissa interaktiivisina näyttöinä ja navigoimisen työkaluina.

Virtuaalikampuksen jatkokehitys on mahdollista esimerkiksi taltioimalla lisää tiloja virtuaalikerrokseen ja mahdollisesti kartoittamalla kaikki Metropolian olemassa olevat toimipisteet tiloineen. Lisäksi opetusmateriaalin tai perehdyttämisisällön lisääminen kuuluvat virtuaalikampuksen mahdollisiin jatkokehitystehtäviin. Projektin tilaaja esitti myös kiinnostuksensa virtuaalikampuksen integroimiseen osaksi Metropolian OMA-järjestelmää.

Kehitysehdotuksena virtuaalikampuksen jatkamiseen voidaan suositella vaihtoehtoisten kamerajärjestelmien harkitsemista. DSLR-kameran ja panoraamapään yhdistelmällä tuotettujen monisektorikuvien taltioiminen kesti kauan, mikä kuvaustilanteissa häiritsi useasti meneillään ollutta oppituntia. Markkinoille julkaistaan jatkuvasti uusia, tehokkaampia 360-kameroita, joten kamerajärjestelmä, joka voisi napin painalluksella taltioida tarpeeksi tarkasti ja valovoimaisesti (mahdollisesti HDR-kuvilla) 360-kuvaa, olisi optimaalinen 360-tuotantoon ja vähentäisi samalla jälkieditoinnin määrää. Tämä mahdollistaisi useampien toimipisteiden tilojen taltioimisen nopeammin.

Haasteita jatkokehitykselle asettaa Kolorin ilmoitus 14-vuotisen toiminnan lopettamisesta 14.9.2018 alkaen. Kolor ei näin ollen enää myy ohjelmistoja, päivitä olemassa olevia ohjelmistoratkaisuja, ylläpidä käyttäjäfoorumeita tai tarjoa käyttäjätukea. [44.] Virtuaalikampuksen osalta esimerkiksi selainpäivitykset saattavat aiheuttaa toimintavikoja sivuston toimintaan ja vaikeuttaa sivun päivittämistä ja jatkokehitystä. Kolorin toiminnan lopettaminen on valitettava asia, sillä yrityksen ohjelmistoratkaisut tarjosivat tehokkaat ja suoraviivaiset prosessit virtuaalikampuksen toteuttamiseen.

Mahdollisena ratkaisuna Kolorin toiminnan lopettamisen ongelmaan tulisi virtuaalikampus kehittää alusta alkaen ilman Kolorin ohjelmistoja ja kehittää järjestelmälle oma graafinen käyttöliittymä, jolla sivustoa voitaisiin päivittää. Projektin aikana digimentorit tiedustelivat mahdollisuutta listata virtuaalikampukseen tarkoitettua opiskelumateriaalia sivulle henkilökohtaisesta työpisteeltä käsin, jolloin käyttöliittymän tulisi toimia myös etäkäytöllä. Kyseessä on kuitenkin suuria resursseja ja ajallista panostusta vaativa jatkokehitysprojekti. Vaihtoehtoisina ratkaisumalleina voidaan mainita sivuston migraatio KR Pano- tai ForgeJS (avoimen lähdekoodin JavaScript-kirjasto) -ympäristöihin.

5 Yhteenveto

360-teknologia on jatkuvasti kehittyvä tekniikan ala, jonka tarjoamat laite- ja ohjelmistoratkaisut mahdollistavat 360-valokuvien integroimisen osaksi verkkosivustoa visuaalisina virtuaalikerroksina. 1800-luvulta asti kehitetty panoraamavalokuvaustekniikka on nykyisin myös kuluttajien käytössä erilaisten mobiiliratkaisujen ja VR-sovellusten mahdollistamana. VR-trendin kasvava suosio ammattilais- ja kuluttajamarkkinoilla on lisännyt kiinnostusta ja tarvetta 360-teknologiaan pohjaavien sovellusten kehittämiseen. 360-teknologiaa voidaan hyödyntää modernissa teknologiassa esimerkiksi matkailun, kaupan, kulttuurin, hyvinvointiteknologian, median ja koulutuksen aloilla.

Insinööriyössä käsiteltiin 360-tuotantoa projektityössä osana virtuaalikampuksen suunnittelu- ja toteutusprosessia. 360-kuvien käyttö virtuaalikerroksella mahdollistaa immersiiivisen käyttökokemuksen, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi opetusikäytössä, perehdyttämistarkoituksiin ja markkinointiin. Vaatimusmäärittelyn vertailukohtana projektissa käytettiin Visumo Oy:n toteuttamaa 360-virtuaalikerrosta.

Virtuaalikerros oppimisympäristönä mahdollistaa opiskelijoiden, opettajien ja muun organisaation kommunikaation, joka ei ole sidottu aikaan tai paikkaan. Tämä lisää opetuksen joustavuutta ja opintotarjonnan laajuutta ja vähentää fyysisten tilojen tarvetta ja ylläpitoa. Virtuaalikerros toimii myös tehokkaana visuaalisena välineenä esimerkiksi tilojen esittelyyn ja laitteisiin perehdyttämiseen.

Laadullisesti virtuaalikampus onnistui hyvin, eikä kuvissa esiintynyt ollenkaan näyttelijöistä johtuvia haamukuvia, toisin kuin Visumon oppimisympäristöissä. Projektia varten taltioitiin 30 otosta 18:sta eri tilasta, eli vaatimusmäärittelyssä kartoitettu 15 tilan vähimmäismäärä laajeni projektin aikana. Virtuaalikampuksen kuvat olivat laadukkaita ja mahdollistivat laajan zoomaamisen, eikä virtuaalikampuksen otoksissa esiintynyt huomattavia parsimisvirheitä. Vähäisinä epäonnistumisina voidaan katsoa olevan kohtalainen kohinan määrä projektin alussa tehdyissä tilakuvauksissa, jolloin kamera-asetukset eivät olleet vielä täysin optimoidut projektia varten, ja HDR-muunnoksen puute.

Projektin voidaan todeta onnistuneen, sillä sivustokokonaisuus toimitettiin tilaajalle ennalta sovittuun päivämäärään mennessä ja se sisälsi vaaditut toiminnot ja ominaisuudet. Projektista saatu palaute oli hyvää. Huolellinen valmistautuminen ja kaluston määrittely

takasivat optimoidun kuvausprosessin. Projekti tarjoaa pohjatyön ja tuotantoprosessien dokumentaation virtuaalikampuksen mahdolliselle jatkokehitykselle. Jatkokehitykselle asettaa haasteita Kolor-yhtiön toiminnan lopettaminen. Lisäksi projektissa mukana olleet opettajat esittivät huolensa opetusmateriaalin käytöstä, ammattitaidon myymisestä ja tekijänoikeuksista.

360-kuvien parsimisprosessi on pitkälti automatisoitu erilaisten ohjelmistoratkaisujen myötä. 360-otosten parsiminen ja editointi vaatii silti manuaalista prosessointia ja editointia, vaikka lähdemateriaali olisi laadullisesti erinomaista ja sisältäisi tarkasti määritetyn NPP:n ja suuren overlap-arvon. Projektin haasteita olivat 360-kuvien parsimisongelmat esimerkiksi kuvalinkkien puutteen tai haamukuvien vuoksi, sivuston ohjelmointiongelmat ja kuvien aikaa vaativa prosessointi sekä editointi. 360-tuotantoon liittyvä kirjallisuus on vähäistä, mikä asetti haasteita työn teoreettisen viitekehyksen rakentamiseen.

Henkilökohtaisella tasolla projekti kehitti projektinhallintaa tiukan aikataulun puitteissa, dokumentaatiotaitoja ja ongelmanratkaisua sekä työskentelyä ryhmässä. Projekti opetti erityisesti kommunikaatiotaitoa ja antoi kokemusta projektiasiakkaan kanssa toimimisesta. 360-tuotannossa käytettävät prosessit, välineistö ja ohjelmistot tulivat projektin aikana hyvin tutuiksi. Työllistyminen 360-tuotannon alalle on epävarmaa, koska teknologia kehittyy hyvin nopeasti, mutta opinnot alalla ovat olleet mielenkiintoisia ja opettavaisia.

Lähteet

- 1 Nähköaistimus. Verkkoaineisto. Näkövammaisten liitto ry. <<https://www.nkl.fi/fi/etusivu/nakeminen/aistimus>>. Luettu 9.10.2018.
- 2 Rouse, Margaret. 360-degree photograph. Verkkoaineisto. TechTarget. <<http://whatis.techtarget.com/definition/360-degree-photograph>>. Luettu 2.11.2017.
- 3 Hand Orellana, Vanessa. 2016. 10 things I wish I knew before shooting 360 video. Verkkoaineisto. Cnet. <<https://www.cnet.com/how-to/360-cameras-comparison-video-things-to-know-before-you-buy/>>. Luettu 28.10.2017.
- 4 Jefferson, Graham. 2016. Why 360 video is the next big thing in tech. Verkkoaineisto. USA Today. <<https://eu.usatoday.com/story/tech/2016/01/08/why-360-video-next-big-thing-tech/78499508/>>. Luettu 3.4.2018.
- 5 Amazing Applications of 360° Video Technology. Verkkoaineisto. Tata Motors. <<https://tatamotors.co.za/blog/5-amazing-applications-of-360-video-technology/>>. Luettu 2.11.2018.
- 6 Usman, Muhammad. 2018. 7 Ways VR is Improving Healthcare. Verkkoaineisto. UploadVR. <<https://uploadvr.com/healthcare-vr-improve/>>. Luettu 2.11.2018.
- 7 360 History. Verkkoaineisto. Lomography. <<https://microsites.lomography.com/spinner-360/history/>>. Luettu 31.10.2018.
- 8 A Brief History of Panoramic Photography. Verkkoaineisto. Library of Congress. <<https://www.loc.gov/collections/panoramic-photographs/articles-and-essays/a-brief-history-of-panoramic-photography/>>. Luettu 29.10.2017.
- 9 Barnard, Goerge. 1864. Verkkoaineisto. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/8f/Panoramic_from_Lookout_Mountain_Tenn.%2C_1864.jpg/600px-Panoramic_from_Lookout_Mountain_Tenn.%2C_1864.jpg>. Luettu 2.4.2018.
- 10 Cirkut Camera. Verkkoaineisto. Early Photography. <<http://sgarwood.com/node/20>>. Luettu 31.10.2018.
- 11 Alpa Roto Sm60/70 360° Panorama Camera. Verkkoaineisto. Switar's Sweet. <<http://cha-o.asablo.jp/blog/img/2018/05/14/4ea483.jpg>>. Luettu 31.10.2018.
- 12 Chapter 3 / The Stitch. Verkkoaineisto. State Of VR. <http://stateofvr.com/?page_id=17168>. Luettu 31.10.2017.

- 13 Rantalainen, Mikael. Panoraamavalokuvaus: Panoraamapää ja No-Parallax Point (NPP). Verkkoaineisto. Maiseman Lumo – Mikael Rantalaisen Maisemakuvia. <<http://www.maisemanlumo.fi/artikkelit/panoraamavalokuvaus-panoraamapaa-ja-no-parallax-point-npp/>>. Luettu 30.10.2017.
- 14 Tips & Tricks for Manual Calibration with PTGui. Verkkoaineisto. Orah. <<https://support.video-stitch.com/hc/en-us/articles/222325007-Tips-Tricks-for-manual-calibration-with-PTGui>>. Luettu 2.11.2017.
- 15 Autopano Video – Parallax. 2014. Verkkoaineisto. Kolor. <http://www.kolor.com/wiki-en/action/view/Autopano_Video_-_Parallax>. Luettu 31.10.2017.
- 16 Chapter 3 / The Stitch. Verkkoaineisto. State Of VR. <http://stateofvr.com/?page_id=17168>. Luettu 31.10.2017.
- 17 Benson, Thor. 2013. What is a DSLR? It's the camera that raises you from amateur to advanced hobbyist. Verkkoaineisto. Digital Trends. <<https://www.digital-trends.com/photography/what-is-a-dslr/>>. Luettu 27.10.2017.
- 18 EPIC Pro Introduction. Verkkoaineisto. GigaPan. <<http://gigapan.com/cms/manuals/epic-pro-introduction>>. Luettu 31.10.2017.
- 19 Gigapan EPIC Pro Robotic Pan / Tilt Camera Mount. Verkkoaineisto. Robotshop. <<https://www.robotshop.com/media/files/images/gigapan-epic-pro-robotic-pan-tilt-camera-mount-large.jpg>>. Luettu 28.10.2018.
- 20 Comparison of photo stitching software. 2018. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_photo_stitching_software>. Luettu 2.11.2018.
- 21 About Us. Verkkoaineisto. Kolor. <<http://www.kolor.com/about-us/>>. Luettu 27.10.2017.
- 22 Autopano Features. Verkkoaineisto. Kolor. <<http://www.kolor.com/autopano/autopano-features/#features-table>>. Luettu 29.10.2017.
- 23 Autopano Video. 2018. Verkkoaineisto. Kolor. <<http://www.kolor.com/autopano-video/>>. Luettu 1.11.2018.
- 24 How We Create Photos with Record-Setting Resolutions. Verkkoaineisto. Vast. <<https://vastphotos.com/files/uploads/technique/stitching.jpg> >. Luettu 2.11.2018.
- 25 Panotour Features. Verkkoaineisto. Kolor. <<http://www.kolor.com/panotour/panotour-features/>>. Luettu 1.11.2017.

- 26 Panotour – Build tab. 2014. Verkkoaineisto. Kolor. <http://www.kolor.com/wiki-en/action/view/Panotour_-_Build_tab>. Luettu 31.10.2017.
- 27 Rickards, Janice. 2000. The Virtual Campus: the impact on teaching and learning. Verkkoaineisto. Purdue University. <<https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1513&context=iatul>>. Luettu 29.10.2017.
- 28 What is a Virtual Campus. Verkkoaineisto. Learn.org. <https://learn.org/articles/What_is_a_Virtual_Campus.html>. Luettu 28.10.2017.
- 29 Jhosta, Harris. Why Are More Adults Turning Towards Online Education? Verkkoaineisto. Streetdirectory. <http://www.streetdirectory.com/travel_guide/14588/education/why_are_more_adults_turning_towards_online_education.html>. Luettu 1.11.2017.
- 30 Suunhoidon opetusklänikka. Verkkoaineisto. Visumo Oy. <<http://visumo.fi/360/suunterveydenhoito/>>. Luettu 2.11.2018.
- 31 Solution to Zoom Creep. The Original Lens Band. Verkkoaineisto. Lens Band. <<http://lensband.com/>>. Luettu 15.9.2018.
- 32 GigaPan EPIC Pro – Technical Specs. Verkkoaineisto. GigaPan. <<http://gigapan.com/cms/support/tech-specs>>. Luettu 14.8.2018.
- 33 Epic Pro V. Verkkoaineisto. Omega Brandess Distribution. <<http://www.omega-brandess.com/products/Gigapan/GigaPan-EPIC-ProV>>. Luettu 29.4.2018.
- 34 Domenech, Chema. 2017. Create A Wildlife Panorama. Verkkoaineisto. Outdoor Photographer. <<https://op-cdn-madavor.netdna-ssl.com/2017/04/overlap-diagram-black-824x259.jpg>>. Luettu 2.9.2018.
- 35 Classification of Photographs. Verkkoaineisto. Knight Geospatial Science Group. <http://knightlab.org/rscc/legacy/RSCC_Classification_of_Photosgraphs.pdf>. Luettu 10.10.2018.
- 36 Nichols, Shaun. 2017. Adobe will kill Flash by 2020: No more updates, support, tears, pain. Verkkoaineisto. The Register. <https://www.theregister.co.uk/2017/07/25/flash_nahuh_internets_screen_door_gone_for_good_by_2020/>. Luettu 24.5.2018.
- 37 Panotour - Build tab. Verkkoaineisto. Kolor. <http://www.kolor.com/wiki-en/action/view/Panotour_-_Build_tab>. Luettu 15.7.2018.
- 38 Bootstrap – Home. Verkkoaineisto. Bootstrap. <<https://getbootstrap.com/>>. Luettu 19.10.2018.

- 39 OMA. 2018. Verkkoaineisto. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <<https://oma.metropolia.fi/>>. Luettu 28.10.2018.
- 40 Metropolian graafinen ohjeisto. 2018. Verkkoaineisto. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <<https://oma.metropolia.fi/henkilokunnalle/viestinta-ja-markkinointi/graafinen-ohjeisto>>. Luettu 15.5.2018.
- 41 Metropolian graafinen ohjeisto: Värit. 2018. Verkkoaineisto. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <<https://oma.metropolia.fi/henkilokunnalle/viestinta-ja-markkinointi/graafinen-ohjeisto/typografia/varit>>. Luettu 28.10.2018.
- 42 Graafisen ohjeistuksen soveltaminen verkossa. 2018. Verkkoaineisto. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <<https://oma.metropolia.fi/henkilokunnalle/viestinta-ja-markkinointi/graafinen-ohjeisto/soveltaminen-verkossa>>. Luettu 24.5.2018.
- 43 Opettajan itse tekemä materiaali. Verkkoaineisto. Operight. <<https://operight.fi/artikkeli/omat-tyot/opettajan-itse-tekema-materiaali>>. Luettu 4.9.2018.
- 44 Kolor is Closing. 2018. Verkkoaineisto. Kolor. <<http://www.kolor.com/>>. Luettu 21.10.2018.
- 45 GoPro VR: Enjoy Virtual Reality in Mac OS High Sierra. 2017. Verkkoaineisto. GoPro. <<https://gopro.com/news/gopro-vr-player-apple-mac-high-sierra-os>>. Luettu 5.12.2018.
- 46 5 Things You Should Know About 360 Video Resolution. 2017. Verkkoaineisto. 360Rize. <<https://www.360rize.com/2017/04/5-things-you-should-know-about-360-video-resolution/>>. Luettu 5.12.2018.
- 47 Mobbs, David. 2016. Panoramic Photography Techniques with Coloratti Hugo Rodriguez. Verkkoaineisto. X-Rite Photo blog. <<http://blog.xritephoto.com/2016/04/panoramic-photography-techniques-hugo-rodriguez/#sthash.LblGqOv2.dpbs>>. Luettu 6.12.2018.
- 48 Carter, Jamie. 2018. Best 360 camera 2018: 10 cameras to capture everything. Verkkoaineisto. Techradar <<https://www.techradar.com/news/best-360-degree-camera>>. Luettu 6.12.2018.
- 49 Autopano Video - Blending preset. Verkkoaineisto. Kolor. <<http://www.kolor.com/wiki-en/images-en/thumb/a/ad/AV-smooth.jpg/300px-AV-smooth.jpg>>. Luettu 8.12.2018.
- 50 Knight, Denis. 2008. 6 Top Panorama Problems and How to Solve Them. Verkkoaineisto. <<http://www.theperfectpanorama.com/articles/problem-4-stitching.html>>. Luettu 8.12.2018.

Kuvaustilat

Tila	Toimipiste	Päivämäärä	Kuvat
B226 - Moderni työtila	Leiritie	27.11.2017	88
B226 - Moderni työtila	Leiritie	27.11.2017	77
B321 - Moderni työtila	Leiritie	27.11.2017	77
Helpdesk	Leiritie	27.11.2017	77
Megora	Leiritie	27.11.2017	79
i126	Vanha Viertotie	28.11.2017	77
i126 - Pohjallispaja	Vanha Viertotie	28.11.2017	96
i231	Vanha Viertotie	28.11.2017	77
i232	Vanha Viertotie	28.11.2017	88
Optikkomyymälä	Mannerheimintie	28.11.2017	90
E-learning Lab	Leppävaara	12.12.2017	88
Kirjasto	Leppävaara	12.12.2017	77
Hiljainen Lukutila	Leppävaara	12.1.2018	96
Lukutila	Leppävaara	12.1.2018	85
Ryhmätyötila 1	Leppävaara	12.1.2018	96
Ryhmätyötila 2	Leppävaara	12.1.2018	96
Ryhmätyötila 3	Leppävaara	12.1.2018	96
Ryhmätyötila 4	Leppävaara	12.1.2018	96
Tietokonetila	Leppävaara	12.1.2018	96
Työtila	Leppävaara	12.1.2018	96
i324 - Kliininen fysiologia ja neurofysiologia	Vanha Viertotie	24.1.2018	105
i341 - Kliininen sytologia	Vanha Viertotie	24.1.2018	96
i349 - Bioanalytiikka	Vanha Viertotie	24.1.2018	96
i349 - Bioanalytiikka 2	Vanha Viertotie	24.1.2018	96
345 - Bioanalytiikka	Vanha Viertotie	25.1.2018	96
Röntgen	Mannerheimintie	25.1.2018	96
i331 - Kliininen Biokemia	Vanha Viertotie	26.1.2018	96
i333 - Kliininen Biokemia	Vanha Viertotie	26.1.2018	96
i333 - Kliininen Biokemia	Vanha Viertotie	26.1.2018	96
i339 - Näytteenottotila	Vanha Viertotie	26.1.2018	96