

Virtuaalinäyttelyn toteutus Riihimäen kaupunginmuseolle



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Tieto- ja viestitekniikka, insinööri (AMK), Riihimäen kampus
Kevät, 2021
Teemu Knuutila

| | | |
|-----------|---|------------|
| Tekijä | Teemu Knuutila | Vuosi 2021 |
| Työn nimi | Virtuaalinäyttelyn toteutus Riihimäen kaupunginmuseolle | |
| Ohjaajat | Antti Laakso | |

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli toteuttaa Talvisodan aika Riihimäellä -aiheinen virtuaalinäyttely Riihimäen kaupunginmuseolle. Projekti toteutettiin yhteistyössä HAMK:in kanssa osana museoviraston rahoittamia innovatiivisia hankkeita. Virtuaalinäyttelyn ideana on, että museossa vieraileva henkilö pääsee tutustumaan virtuaalisesti kaupunginmuseon pihapiirissä sijaitsevaan väestönsuojaan sekä tänne rakennettuun, talvisota-aiheiseen virtuaalinäyttelyyn.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa selvitetään mitä virtuaalinäyttelyllä käytännössä tarkoitetaan, minkälaista on niiden kehitys sekä pohditaan virtuaalinäyttelyiden hyötyjä ja soveltamista käytännön tarpeisiin. Tämän lisäksi tutustutaan olemassa oleviin virtuaalinäyttelytoteutuksiin sekä selvitetään virtuaalinäyttelyn teknisiä vaatimuksia.

Soveltavassa osuudessa käydään läpi, kuinka väestönsuojan tilat kartoitettiin ja rakennettiin Unityyn sekä kuinka virtuaalinäyttely toteutettiin tämän ympärille. Lopuksi pohditaan projektin lopputulosta sekä jatkokehitysmahdollisuuksia.

Avainsanat virtuaalinäyttely, virtuaalimuseo, unity, 3D-mallinnus, digitointi

Sivut 27 sivua ja liitteitä 0 sivua

ABSTRACT

The goal of this thesis was to build a Winter War themed virtual exhibition for the historical museum of Riihimäki. The project is implemented in cooperation with HAMK as an innovative project funded by the Finnish Heritage Agency. The idea of this virtual exhibition is that the person visiting the museum can virtually visit a civil shelter located in the yard of the museum and see the Winter War exhibition built inside.

The theory part of the thesis explains what is meant by virtual exhibition in practice, what their development is like, what kinds of benefits they have and what kinds of practical applications there are. In addition, the thesis introduces some existing virtual exhibition implementations and studies the technical requirements of virtual exhibitions.

The last part of the thesis shows how the model of the shelter was mapped and built inside Unity and how the exhibition was built around it. Finally, the outcome of the project and possibilities for further development.

Keywords virtual exhibition, virtual museum, Unity, 3D modeling, digitization

Pages 27 pages and appendices 0 pages

Sisälllys

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Virtuaalinäyttely | 1 |
| 2.1 | Mikä on virtuaalinäyttely | 1 |
| 2.2 | Virtuaalinäyttelyn hyödyt | 2 |
| 2.3 | Virtuaalinäyttelyt opetuskäytössä | 3 |
| 2.4 | Erilaisia toteutuksia | 4 |
| 2.4.1 | Google Arts & Culture | 4 |
| 2.4.2 | Matterport | 6 |
| 2.4.3 | Universal museum of art | 8 |
| 3 | Virtuaalinäyttelyn tekniset vaatimukset | 10 |
| 3.1 | Virtuaalinäyttelyn rakenne | 10 |
| 3.2 | Virtuaalialustat | 11 |
| 3.3 | Esimerkkejä virtuaalialustoista | 11 |
| 3.3.1 | Unity | 11 |
| 3.3.2 | Krpano | 12 |
| 3.4 | Mallinnus | 12 |
| 3.5 | Esimerkkejä mallinnusohjelmista | 13 |
| 3.5.1 | 3ds Max | 13 |
| 3.5.2 | Blender | 13 |
| 3.6 | Virtuaalinäyttelyn esittelyyn tarvittava laitteisto | 14 |
| 4 | Virtuaalinäyttelyn toteutus | 14 |
| 4.1 | Lähtötilanne | 14 |
| 4.2 | Pohjatyöt | 15 |
| 4.3 | Virtuaaliympäristön rakentaminen Unityyn | 16 |
| 4.4 | Näyttelyn toteutus | 19 |
| 4.5 | Navigaation toteutus | 21 |
| 4.6 | Infotaulujen toiminta ja sisällön tuonti | 23 |
| 4.7 | Jatkokehitys | 26 |
| 5 | Yhteenveto | 26 |
| | Lähteet | 28 |

Kuvat, taulukot ja kaavat

| | |
|--|----|
| Kuva 1. Näkymä Van Gogh -museon virtuaaliesittelystä (Google, n.d.)..... | 5 |
| Kuva 2. Esillä olevat tarinat sekä näyttelyt teemoittain (Google, n.d.)..... | 6 |
| Kuva 3. 3D-mallinnus museon tiloista (Suomen lasimuseo, n.d.)..... | 7 |
| Kuva 4. Näkymä virtuaalinäyttelystä (Suomen lasimuseo, n.d.)..... | 8 |
| Kuva 5. Näkymä virtuaalinäyttelystä (Universal Museum of Art, n.d.)..... | 9 |
| Kuva 6. Urbaanin taiteen näyttely (Universal Museum of Art, n.d.)..... | 9 |
| Kuva 7. Lisätietoa teoksista (Universal Museum of Art, n.d.)..... | 10 |
| Kuva 8. Kaavio virtuaalinäyttelyn rakenteesta..... | 11 |
| Kuva 9. Väestönsuojan sisäänkäynti..... | 15 |
| Kuva 10. Pohjapiirros väestönsuojasta..... | 16 |
| Kuva 11. 3D-mallin pohja..... | 17 |
| Kuva 12. 3D-malli väestönsuojasta..... | 17 |
| Kuva 13. Kuvan pohjalta mallinnettu lämmitysuuni..... | 18 |
| Kuva 14. Lopullinen 3D-malli..... | 19 |
| Kuva 15. Infotauluja virtuaalinäyttelyn sisällä..... | 20 |
| Kuva 16. Infotauluista avautuva näkymä..... | 20 |
| Kuva 17. Checkpoint manager..... | 21 |
| Kuva 18. Liike checkpointtien välillä..... | 22 |
| Kuva 19. Matkan ja nopeuden määrittäminen..... | 23 |
| Kuva 20. Infotaulujen collider-elementit..... | 24 |
| Kuva 21. Collider elementtien klikkausskripti..... | 24 |
| Kuva 22. Avattavan paneelin valinta..... | 25 |
| Kuva 23. Infotaulun rakenne..... | 25 |

1 Johdanto

Riihimäen kaupunginmuseolle toteutettiin yhteistyössä Hämeen ammattikorkeakoulun kanssa osana vuoden 2019 museoviraston rahoittamia innovatiivisia hankkeita Talvisodan aika Riihimäellä -virtuaalinäyttely. Näyttelyn ideana on päästää kävijä kurkistamaan kaupunginmuseon pihapiirissä sijaitsevaan väestönsuojaan virtuaalisesti ja samalla tutustumaan talvisota-aiheiseen näyttelyyn. Museoviraston avustusten tavoitteena on tukea erilaisia kokeiluja sekä etenkin uusia ja innovatiivisia tapoja tehdä museotyötä (Museovirasto, n.d.).

Talvisodan aika Riihimäellä -näyttely kertoo riihimäkeläisten elämästä talvisodan aikana. Rautateiden risteyspaikkana Riihimäki oli sodan kannalta logistisesti tärkeässä asemassa ja näin myös runsaiden pommitusten kohteena, väestönsuoja toimii siis myös teemaltaan erinomaisena ympäristönä näyttelylle. Väestönsuoja on jo pitkään ollut kaupunginmuseon vierailijoiden mielenkiinnon kohteena, mutta sen huonon kunnon takia sinne ei voi kävijöitä päästää, virtuaalinäyttelyn ansiosta kävijöillä olisi myös mahdollisuus kurkistaa väestönsuojan sisälle. Itse näyttely sijoitettiin kaupunginmuseon tiloihin osaksi pysyvää perusnäyttelyä. Näyttelyyn pääsee tutustumaan kosketusnäytön välityksellä.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, mitä virtuaalinäyttelyllä tarkoitetaan, antaa esimerkkejä, millaisia olemassa olevia toteutuksia on, mitä ovat virtuaalinäyttelyiden käyttökohteet sekä antaa esimerkki virtuaalinäyttelyn toteutuksesta pelimoottorialustalle.

2 Virtuaalinäyttely

2.1 Mikä on virtuaalinäyttely

Museot ovat jo pitkään taltioineet näyttelymateriaaliaan digitaaliseen muotoon. Oli tarkoitus sitten esitellä aineistoa verkossa tai vain arkistoida sitä tiedon säilyttämisen sekä saavutettavuuden parantamiseksi. Puhuttaessa virtuaalinäyttelystä tarkoitetaan tämän taltioidun datan esittämistä jonkinlaisessa virtuaaliympäristössä. Useimmiten tämä on toteutettu luomalla 3D-ympäristö, jossa kävijä voi liikkua ja tutustua museon kokoelmiin.

Virtuaalinäyttely voi olla esimerkiksi museon nettisivuilla tai fyysisesti museon tiloissa. (Schubert ym., 2009)

Virtuaalimuseot voidaan jakaa neljään erilaiseen kategoriaan: esite, sisältöön perustuva, oppimiseen perustuva sekä virtuaalinäyttely. Esitteen tyyppiset näyttelyt ovat nettisivuja, jotka sisältävät perustietoa niin kokoelmista kuin museoista, joissa nämä kokoelmat sijaitsevat. Sisältöön ja oppimiseen perustuvissa ratkaisussa on keskitytty enemmän näyttelyn sisältöön ja interaktiivisuuteen. Näistä seuraava askel on itsenäinen virtuaalinäyttely. Virtuaalinäyttelyt voivat olla kopioita olemassa olevista näyttelyistä, laajentaa olemassa olevien näyttelyiden sisältöä tai olla täysin omia kokonaisuuksiaan irrallaan muista näyttelyistä. (Hurjit ym., 2013)

2.2 Virtuaalinäyttelyn hyödyt

Virtuaalialusta ei ole riippuvainen fyysisen tilan rajoituksista ja näin avaa uusia mahdollisuuksia niin sisällön laajennettavuuden, saavutettavuuden kuin innovatiivisuuden suhteen. Verkossa saatavat materiaalit ovat avoinna kaikille maailmanlaajuisesti ja näin mahdollistaa alueellisten museoiden perimätiedon leviämisen ympäri maailman. Virtuaalisessa muodossa olevaa materiaalia voidaan myös tuoda helpommin saavutettaviksi henkilöille, joilla ei esimerkiksi jonkin terveydellisen syyn takia olisi muuten mahdollista siihen tutustua.

Perinteisen näyttelyn sijaan virtuaalinäyttely itsessään toimii myös pysyvänä näyttelymateriaalin dokumentaationa. Tämä avaa myös pienemmille museoille mahdollisuuksia toteuttaa näyttelyitä, jotka eivät muuten olisi mahdollisia. Museoviraston mukaan Suomessa on n.1000 museoita, joista n. 600 on pieniä museoita jotka ovat auki pääsääntöisesti vain kesäisin. Nämä pienet paikallismuseot ovat vapaaehtoistyön varassa eikä niillä ole resursseja digitoida tai jakaa materiaaliaan laajemmalle alueelle. Teknologian kehittyessä myös digitointiin tarvittavat resurssit vähenevät ja näin avaavat uusia mahdollisuuksia myös pienemmille paikallismuseoille. (Laine-Zamojska, 2011)

Museoilla on myös perinteisesti tiloissaan vaihtuvia näyttelyitä perusnäyttelyn rinnalla ja näyttelyn vaihtuessa edellisen näyttelyn materiaali ei enää välttämättä ole saatavilla

yleisölle. Virtuaalinäyttely mahdollistaa näyttelyiden pysyvän sijoittamisen osaksi museoiden näyttelytarjontaa.

2.3 Virtuaalinäyttelyt opetuskäytössä

Virtuaalinäyttelyt ovat moderni työkalu perinteisten opetusmenetelmien rinnalle ja voivat toimia olemassa olevan opetusmateriaalin tukena. Nykyaikaiset työkalut opetuksessa, kuten interaktiiviset taulut, luovat uusia oppimisympäristöjä ja mahdollistavat monimuotoisempia opetusmetodeja kuten verkosta löytyvän materiaalin käyttöä. Luonteeltaan virtuaalinäyttelyt ovat interaktiivisempia kuin esimerkiksi kirjalliset ja näin ollen luo opiskelijoille kiinnostavia ja mieleenpainuvia kokemuksia. (Ferrara & Sapia, 2013)

Opetuskäytön mahdollisuuksia on tutkittu jo yli vuosikymmen sitten. Traakian Demokritos-yliopistossa vuonna 2008 tehdyn tutkimuksen mukaan enemmistö opiskelijoista koki, että virtuaalitoteutusta hyödyntämällä he saavuttivat oppimistavoitteensa nopeammin, kuin perinteisillä menetelmillä. Tuohon aikaan kuitenkin virtuaalinäyttelyiden toteuttamiseen laajemmin osana opetussuunnitelmaa vaadittavat resurssit nähtiin vielä liian haasteellisina. (Ioannis & Gerassimos, 2008)

Nykyaikaisemman, Latvian yliopistossa vuonna 2020 teetetyt, 36 sovellusta kattavan tutkimuksen tuloksista havaittiin, että virtuaalimuseo voi toimia tehokkaana oppimisen tukena, jos se on rakennettu informatiivisuus ja kognitiivinen kehittyminen edellä. Opiskelijoiden omatoiminen oppiminen virtuaalimuseoiden avulla nähtiin tehokkaaksi vain jos opiskelijalla oli jo valmiiksi tietoa aiheesta sekä motivaatiota syventyä siihen. Muissa tapauksissa, joissa opiskelijoilla ei ollut pohjatietoa tai motiivia aiheeseen, nähtiin virtuaalimuseo tehokkaana välineenä, kun sen rinnalle yhdistettiin ohjattu opetus. (Daniela, 2020)

2.4 Erilaisia toteutuksia

2.4.1 Google Arts & Culture

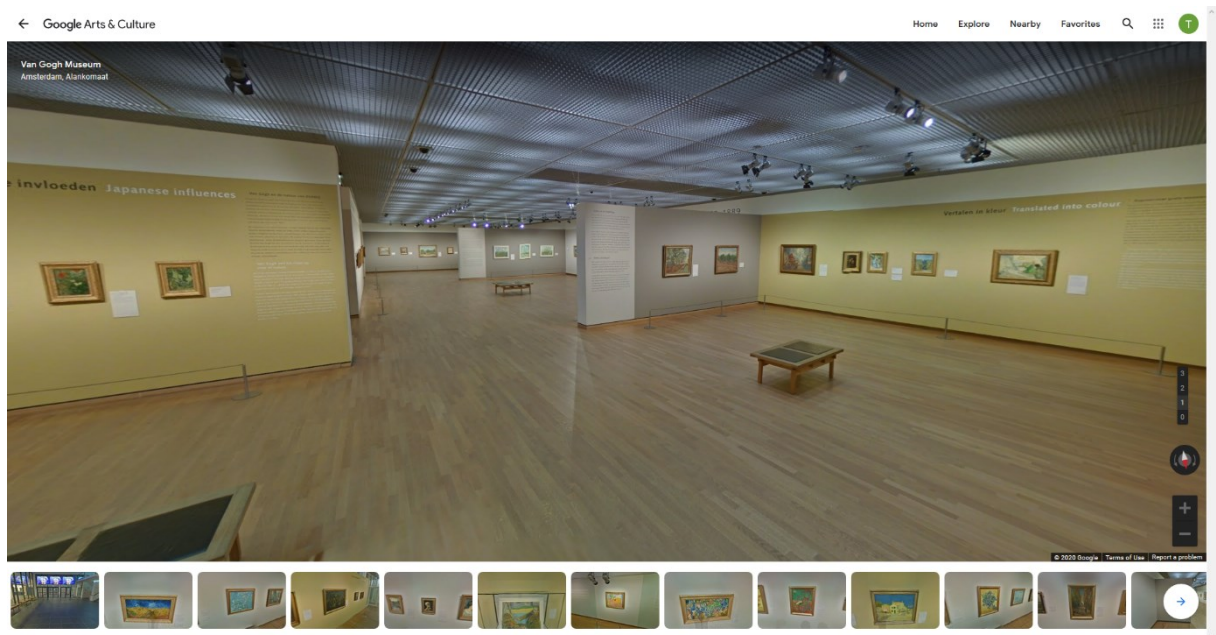
Google Arts & Culture on Googlen kehittämä, ilmainen työkalu kokoelmien digitalisoitiin museoille. Arts & Culturen avulla museot pystyvät luomaan verkkonäyttelyn kokoelmistaan, sekä virtuaaliesittelyn museon tiloista. Sovelluksen avulla käyttäjä pääsee myös virtuaalisesti vierailemaan historiallisesti ja kulttuurillisesti merkittävässä kohteissa ympäri maailman.

(Google, n.d.)

Arts & Culture mobiilisovellus hyödyntää lisäksi AR ja VR -teknologiaa. Sovellukseen voi ladata 3D malleja esimerkiksi historiallisista paikoista ja näitä pääsee tarkastelemaan puhelimen kameran avulla tai VR-lisälaitteilla.

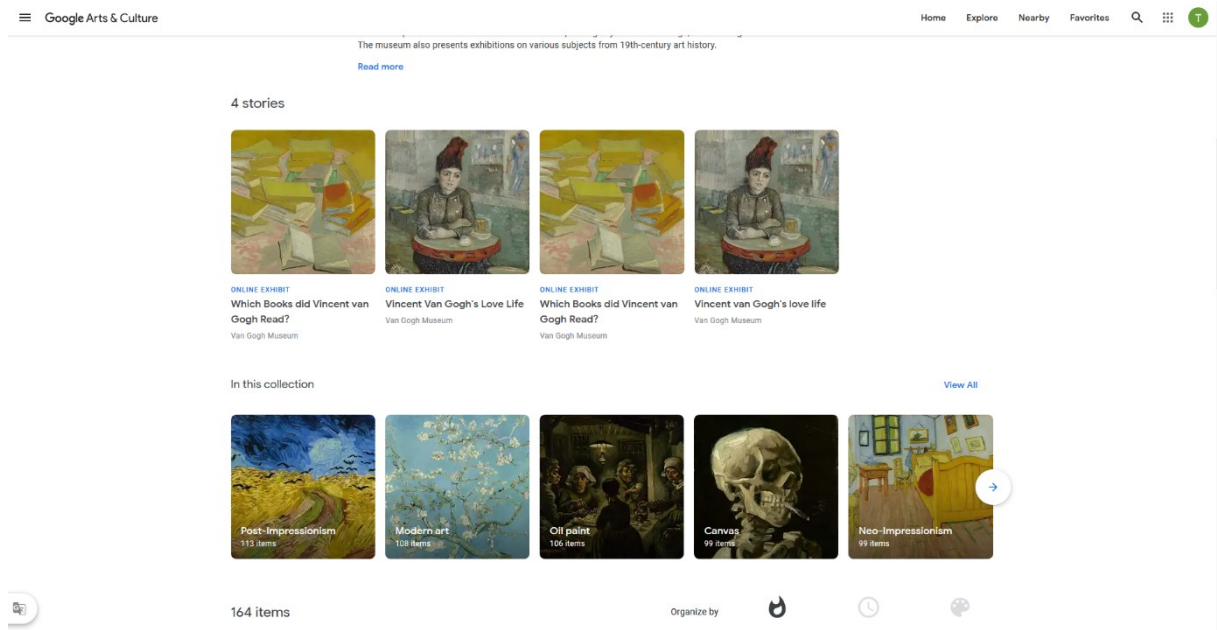
Virtuaaliesittely on toteutettu samankaltaista menetelmää hyödyntäen, kuin Google Maps -palvelu. Käyttäjä pääsee tutustumaan museon tiloihin liikkumalla ennalta määritettyjen pisteiden välillä ja näiden pysähdyspisteiden kohdalla pystyy katselemaan ympärilleen. Itse näyttelymateriaalin lähempi tarkastelu ei ole mahdollista, mutta museon tilojen yleiskuvan esittelyyn tämä työkalu soveltuu hyvin. (Kuva 1)

Kuva 1. Näkymä Van Gogh -museon virtuaaliesittelystä (Google, n.d.)



Virtuaaliesittelyn lisäksi palveluun voi lisätä erilliseen osioon tarkempaa tietoa museon esineistä. Tämä osio toimii tavallisen kuvagallerian tapaan, kustakin esineestä voidaan lisätä kuvia sekä tietoa. Kuvagallerian lisäksi sivulle voi lisätä esimerkiksi tarinoita, jotka sivuavat esiteltävien näyttelyiden teemoja. (Kuva 2)

Kuva 2. Esillä olevat tarinat sekä näyttelyt teemoittain (Google, n.d.)

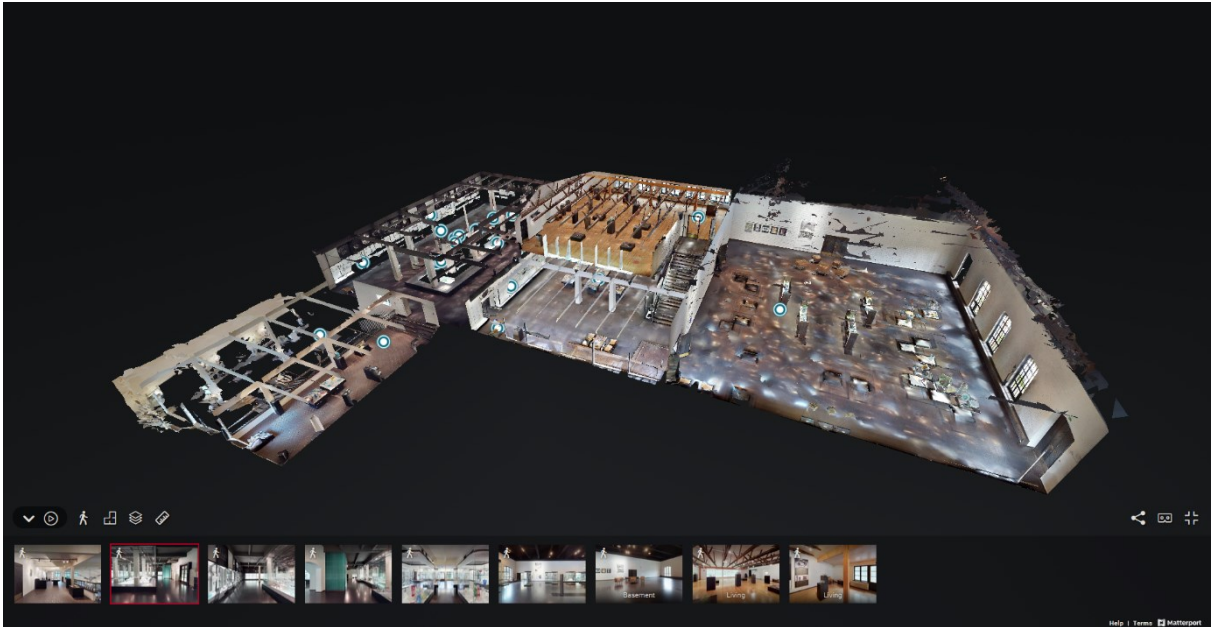


2.4.2 Matterport

Matterport-palvelun avulla käyttäjä voi luoda tarkkoja 3D-malleja mistä vain tiloista fotogrammetriaa hyödyntäen. Matterportilta voi tilata kuvauspalvelun tai vaihtoehtoisesti oman 3D-kameran, jolla käyttäjä voi itse kuvata haluamansa tilat. Nykyään Matterport tukee myös uusimpia iPhone-malleja, joissa on 3D-kamera. Matterport on yksi suosituimmista alustoista virtuaalinäyttelyiden toteutukseen. (Matterport, n.d.)

Esimerkiksi Suomen lasimuseolle on toteutettu virtuaalinäyttely Matterport-palvelua hyödyntäen. Kuvasta näkee, kuinka fotogrammetriaa hyödyntäen saadaan tehtyä todella yksityiskohtaisia 3D-malleja suuremmistakin tiloista (Kuva 3).

Kuva 3. 3D-mallinnus museon tiloista (Suomen lasimuseo, n.d.)



Suomen lasimuseon nettisivuilla on nähtävissä 3D-malli museon tiloista kokonaisuudessaan sekä virtuaalinäyttely. Tässä toteutuksessa on käytetty hyödyksi pelkkien kuvien lisäksi fotogrammetriaa ja 3D-mallinnusta, joten esineet ovat tarkasteltavissa huomattavasti tarkemmin kuin esimerkiksi Googlen Arts & Culture -alustalla. Kävijä saa myös lisätietoa näyttelyesineistä viemällä osoittimen sinisten pisteiden päälle (Kuva 4).

Kuva 4. Näkymä virtuaalinäyttelystä (Suomen lasimuseo, n.d.)



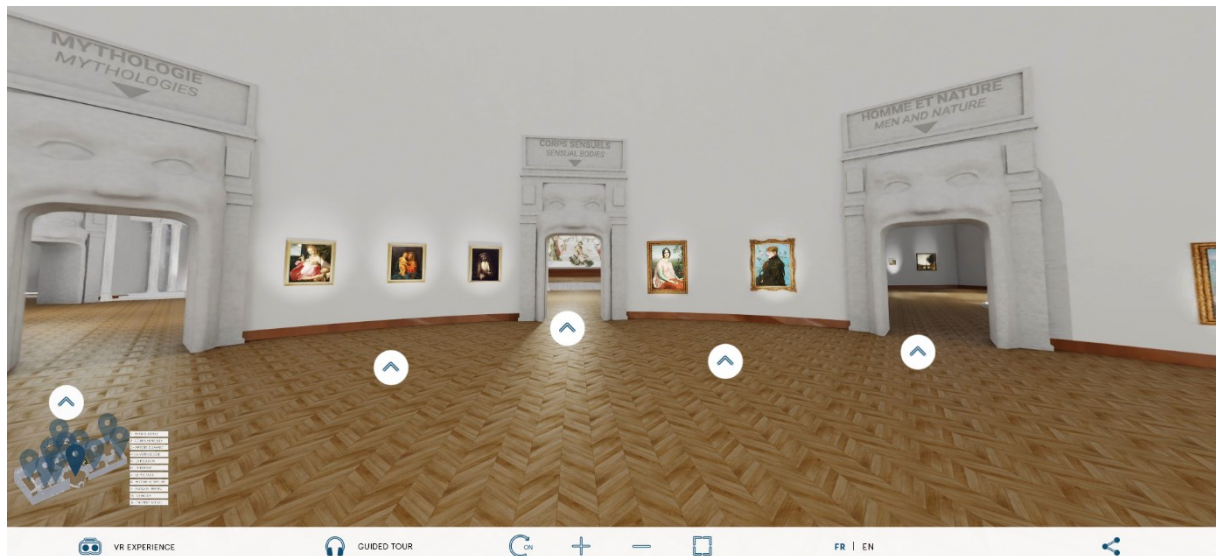
2.4.3 Universal museum of art

UMA eli universal museum of art on ensimmäinen ainoastaan verkossa sijaitseva virtuaalimuseo. UMA:n tavoitteena on yhteistyössä kulttuurillisten laitosten kanssa tuoda kulttuurillista perintöä saavutettavaksi kaikille ilmaiseksi (Universal Museum of Art, 2019).

Huolimatta siitä, että UMA on täysin virtuaalinen museo, on se toteutettu perinteistä museota jäljitellen virtuaaliympäristöön. UMA:n näyttelyt on kuitenkin toteutettu ainoastaan 3D-mallinnusta hyödyntäen, eivätkä ne pohjaudu mihinkään olemassa olevaan fyysiseen tilaan. UMA:n virtuaalinäyttelyt on rakennettu krpano-alustalle. Krpano on kevyt alusta panoraama sekä 3D-ympäristöjen rakentamiseen, joka toimii lähes kaikilla laitteilla sekä selaimilla (krpano, n.d.). UMA:n alustalle on myös kehitteillä VR-laseilla toimiva versio sekä ohjatut museokierrokset.

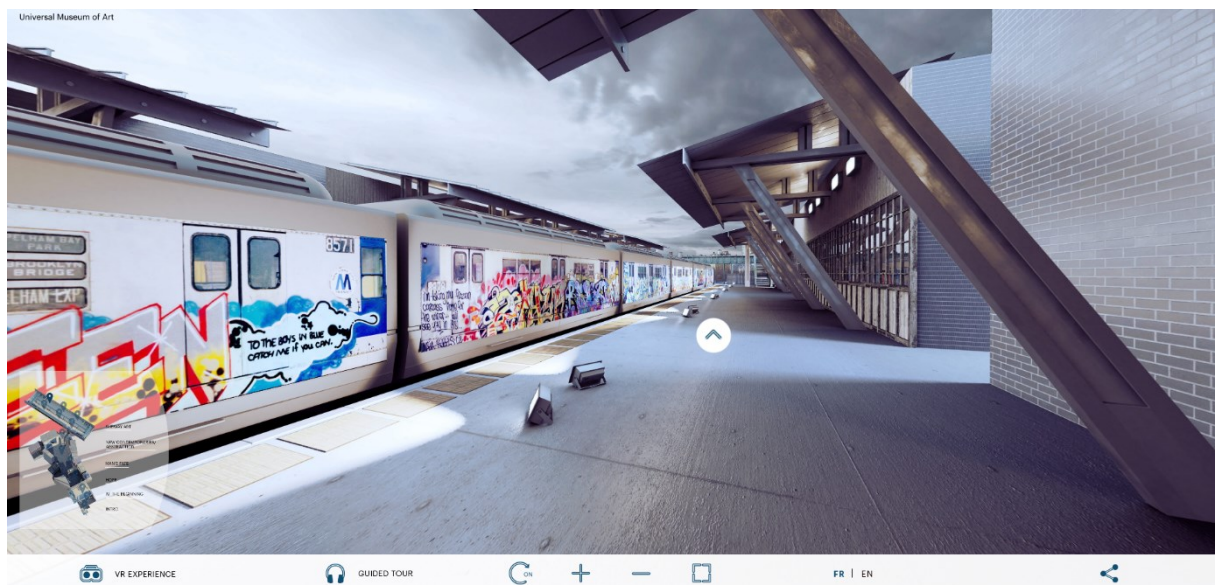
Virtuaalinäyttelyn avautuessa paljastuu hyvin samankaltainen käyttöliittymä, kuin muissakin toteutuksissa (Kuva 5). UMA:n nettisivuilta löytyy tällä hetkellä 12 valmista virtuaalinäyttelyä. Jokaiselle näyttelylle on rakennettu näyttelyn teemaan sopiva uniikki 3D-ympäristönsä.

Kuva 5. Näkymä virtuaalinäyttelystä (Universal Museum of Art, n.d.)



Virtuaalialusta mahdollistaa näyttelyn rakentamisen sellaiseen ympäristöön, joka ei välttämättä fyysisessä museossa olisi mahdollista. Esim. tämä metroasemalle rakennettu ”Subway Art” -näyttely, jossa esitellään erilaisia graffiteja (Kuva7).


Kuva 6. Urbaanin taiteen näyttely (Universal Museum of Art, n.d.)



Tauluja klikkaamalla avautuvassa näkymässä teoksista saa lisätietoa ja niitä voi tarkastella lähemmin. Selaamalla alaspäin saa myös enemmän tietoa muista teokseen liittyvistä asioista, kuten taiteilijasta (Kuva 7).

Kuva 7. Lisätietoa teoksista (Universal Museum of Art, n.d.)

×
f t e




Portrait de Jean-Thiébault Silbermann (1806-1865)
Jean Jacques HENNER

Vers 1860 - 1865, Huile sur toile, musée des Arts et Métiers, PARIS
© Musée des Arts et Métiers-Cnam, Paris / Photo Pierre Ballif

Peintre d'une beauté sensuelle et idéale, Jean-Jacques Henner est aussi célèbre pour ses portraits. Il représente ici un physicien alsacien, Jean Thiébault Silbermann, inventeur d'instruments scientifiques. Le savant est peint avec sa légion d'honneur, distinction qu'il a reçue quelques années plus tôt. Il est entouré de nombreux instruments de mesure rangés dans de belles étagères. L'espace qui sert de décor à ce tableau est le Conservatoire national des Arts et Métiers, où le scientifique est professeur et conservateur.

Jean Jacques HENNER

Il paraît que les hommes préfèrent les blondes, mais Jean-Jacques Henner, lui, préférait les rousses. Cette prédilection pour la couleur se ressent dans sa peinture, il peint de très nombreuses «filles rousses» pareilles à celle du Titien, dont les cheveux incendient la toile «l'qui le dit ?». Détenteur du Prix de Rome qui offre aux peintres les plus prometteurs de voyager en Italie, il s'inspire de Titien, du Caravage et du Caravage pour nourrir son art sensuel et poétique. Il peint aussi le portrait de ses contemporains au gré des commandes qui lui sont faites. Un musée lui est aujourd'hui consacré à Paris, dans son ancien atelier.

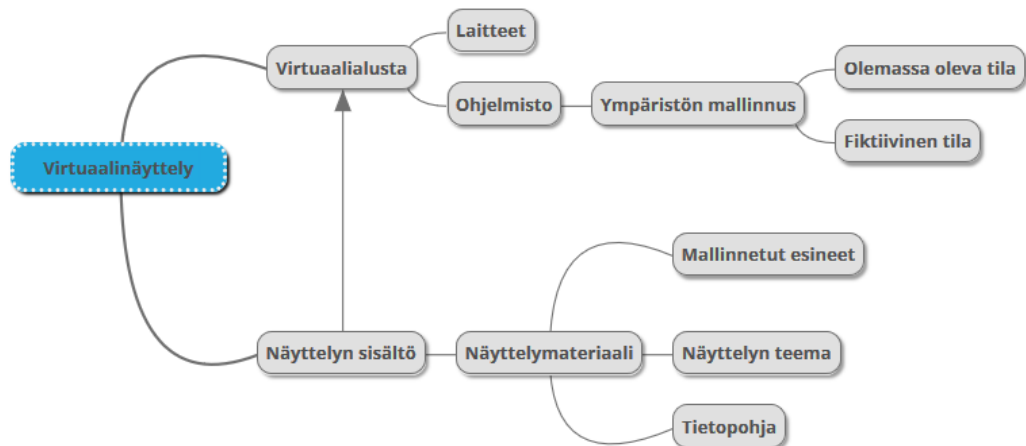


3 Virtuaalinäyttelyn tekniset vaatimukset

3.1 Virtuaalinäyttelyn rakenne

Virtuaalinäyttelyn kaksi keskeisintä elementtiä ovat virtuaalialustalle luotu ympäristö sekä itse näyttelyn sisältö. Virtuaaliympäristö voi perustua esimerkiksi johonkin historiallisesti merkittävään olemassa olevaan kohteeseen ja näin toimia myös itsessään näyttelyn keskeisenä kohteena. Virtuaalialustaan sisältyy näyttelyn esittelemiseen ja rakentamiseen vaadittavat ohjelmistot, sekä tarpeen mukaan vaadittavat fyysiset päätelaitteet kuten kosketusnäyttö tai VR-lasit. Jos virtuaalinäyttely rakennetaan itse, tarvitaan jokin ympäristö, jossa näyttely toimii, tällaisia ovat esimerkiksi Unity-pelimoottori. Alustan lisäksi tarvitaan jokin ohjelma, jolla luodaan sisältöä näyttelyyn ja mallinnetaan itse näyttelyn ympäristö. Tarvittavaan ohjelmiston valinnassa täytyy ottaa huomioon, onko mallinnettava kohde olemassa oleva tila vai halutaanko rakentaa fiktiivinen jokin ympäristö. (Kuva 8)

Kuva 8. Kaavio virtuaalinäyttelyn rakenteesta



3.2 Virtuaalialustat

Alustan valinnassa täytyy ottaa huomioon lopullisen tuotteen tarpeet. Minkälaista näyttelymateriaalia halutaan, missä muodossa sekä millä päätelaitteilla tämä materiaali esitetään. Pelimoottorialustat tarjoavat ominaisuuksien suhteen paljon enemmän joustavuutta, kuin valmiiksi virtuaalinäyttelyitä varten räätälöidyt alustat. Alustaa valitessa täytyy myös ottaa huomioon käytettävissä olevat resurssit. Valmiit, virtuaalinäyttelykäyttöön tarkoitetut työkalut ovat kätevä valinta siinä vaiheessa, jos virtuaalinäyttely ei vaadi ominaisuuksiltaan laajempaa kustomointia ja valmis alusta vastaa kaikkiin näyttelyn tarpeisiin. Pelimoottorialustat, kuten Unity, avaavat paljon enemmän mahdollisuuksia niin visuaalisen kuin toiminnallisuudenkin suhteen, mutta niille näyttelyn toteutus vaatii myös huomattavasti enemmän resursseja ja ammattitaitoa.

3.3 Esimerkkejä virtuaalialustoista

3.3.1 Unity

Unity on ensisijaisesti 3D ja 2D pelien tekemiseen suunniteltu pelimoottori. Unityn vahvuuksia ovat sen tarjoamat laajat ominaisuudet sekä universaali tuki alustojen suhteen. Tämän takia Unity on yksi suosituimpia pelimoottoreita niin ammattilais- kuin

amatöörikäytössäkin, vuonna 2020 unityllä oli jopa 2,5 miljardia käyttäjää. Unity pohjautuu C sharp - ohjelmointikieleen ja tarjoaa käyttäjilleen myös sisäänrakennetun Visual Studio integraation (Petty, n.d.). Unitystä on olemassa ilmaisversio sekä maksullinen, Unity Pro versio. Ilmaisversiolla kuitenkin onnistuu lähes kaikki, mitä maksullisellakin versiolla. Unity Pro on suunnattu lähinnä ammattilaiskäyttöön ja tarjoaa esimerkiksi kattavamman tuen Unityn kehittäjiltä sekä työkalut mainostamiseen ja omien sovellusten sisäisiin ostoksiin.

Omaan projektiin Unity oli paras valinta juurikin sen tarjoamien vapauksien sekä alustojen suhteen. Valmiit, virtuaalinäyttelykäyttöön suunnitellut alustat kuten Krpano ei olisi tarjonnut oman projektin suhteen tarpeeksi ominaisuuksia. Unitylle rakennettua virtuaalinäyttelyä on helppo halutessaan kehittää eteenpäin ja se tarjoaa mahdollisuuden julkaista näyttely jatkossa useille eri alustoille PC:n lisäksi.

3.3.2 Krpano

Krpano on kevyt työkalu, joka on kehitetty korkealaatuisten panoraamakuvien esittelyyn verkossa HTML5 tai Flash pohjaisesti, tämän ansiosta se myös toimii lähes millä tahansa laitteella sekä käyttöjärjestelmällä. Työkalu tarjoaa mahdollisuuden myös virtuaalisten esittelyiden tai virtuaalinäyttelyiden luontiin. Krpanon tarjoamiin ominaisuuksiin kuuluu mm. Virtuaaliesittelyt, Panoraamavideot, WebVR sekä 3D-syvyyskartat. (krpano, n.d.)

Krpano on virtuaalinäyttelyn luontiin hyvä työkalu, jos halutaan luoda valokuviiin perustuva, ominaisuuksiltaan yksinkertainen näyttely esimerkiksi jostakin historiallisesti merkittävästä kohteesta. Krpanolla onnistuu myös tarkkojen 3D-fotogrammetriamallien luonti. Missä Krpano taas jää jälkeen pelialustoille kuten Unity, on sen toiminnollisuus pelillisten ominaisuuksien luontiin. Krpanolla on helpompi luoda visuaalisesti vakuuttavaa, valokuviiin perustuvaa materiaalia kuin Unitylla, mutta jos halutaan rakentaa fiktiivinen tila, tai rekonstruoida jokin kohde 3D-ympäristöön, jää se kakkoseksi pelimoottorialustoille.

3.4 Mallinnus

3D-mallinnusohjelmat tulevat kyseeseen, kun tarvitaan piirustuksiin ja mittauksiin perustuvia tarkkoja malleja. Ne ovat myös ainoa vaihtoehto käsiteltäessä arkeologisia sekä

tuhoutuneita kohteita, kun täytyy mallintaa esineitä tai rakennuksia, jotka eivät enää ole olemassa. Tapauksissa, joissa täytyy rekonstruoida jokin kohde, joka ei enää ole olemassa, maalaukset ja tekstidokumentit ovat tärkeä lähde 3D-malleja luodessa. Kuvien, maalauksien ja muun dokumentaation pohjalta mallintaminen ei vaadi kalliita työkaluja, mutta ne ovat aikaa vieviä prosesseja. Jos mallinnettava kohde on edelleen ehjä, voidaan käyttää apuna muita työkaluja, kuten 3D-skanneria. (Carmo & Cláudio, 2013)

3.5 Esimerkkejä mallinnusohjelmista

3.5.1 3ds Max

3ds Max on Autodeskin tarjoama, maksullinen 3D-mallinnus- ja renderointiohjelmisto. Kattavien ominaisuuksien vuoksi 3ds Max on yksi suosituimpia ohjelmia niin peli- kuin elokuvateollisuudessakin. Se tarjoaa laajat ominaisuudet mallintamiseen, teksturointiin, animointiin ja tehosteisiin sekä renderointiin (Autodesk, n.d.). Virtuaalinäyttelyä luodessa 3ds Max on hyvä työkalu siinä kohtaa, kun tarvitaan yksityiskohtaisempia, mittasuhteiltaan tarkkoja 3D-malleja.

3.5.2 Blender

Blender on ilmainen, vapaaseen lähdekoodiin perustuva 3D materiaalin luontityökalu, joka on vapaasti käytettävissä niin kaupallisessa kuin opetuskäytössäkin. Blenderillä onnistuu kaikki 3D mallin työstämiseen liittyvät työvaiheet, mallinnus, riggaus, simulointi, renderointi, kompositointi sekä liikkeen seuranta, tämän lisäksi sillä voi tehdä videopelejä tai editoida videoita. Blenderin käyttöliittymä on OpenGL pohjainen ja se toimii niin Windows, Macintosh kuin Linux käyttöjärjestelmillä. (Blender, n.d.)

Blenderillä onnistuu kaikki tarvittavat asiat virtuaalinäyttelymateriaalin luontiin ja onkin erittäin varteenotettava työkalu. Suurena etuna Blenderissä esimerkiksi 3ds Maxiin nähden on sen hinta. Blender on täysin ilmainen ohjelma ja vapaasti käytettävissä kaikkiin tarkoituksiin kun taas 3ds Max lisenssistä voi joutua maksamaan tuhansia euroja.

3.6 Virtuaalinäyttelyn esittelyyn tarvittava laitteisto

Laitteistovaatimukset riippuvat näyttelyn tarpeista ja loppusijoituskohteesta. Yksinkertainen virtuaalinäyttely ei välttämättä vaadi mitään erillistä laitteistoa toimiakseen vaan se voi olla esim. selaimessa toimiva verkkonäyttely.

Fyysisesti museon tiloihin sijoitettu näyttely voi esimerkiksi toimia kosketusnäytön välityksellä. Kosketusnäytön etuna on, että sitä on helppo käyttää sekä useampi museovierailija voi tarkastella virtuaalinäyttelyä samaan aikaan. Virtuaalinäyttely on myös mahdollista toteuttaa esimerkiksi virtuaalilaseille. Virtuaalilasien välityksellä näyttely on huomattavasti immersiivisempi kokemus, kuin kosketusnäytöllä. Lasien huonona puolena on niiden epäkäytännöllisyys museokäytössä, näyttelyä voi tarkastella vain yksi kerrallaan, ellei laseja ole useita kappaleita. Museon kävijät, etenkin vanhempi väki saattaa myös arastella virtuaalilasien käyttöä ja joillekin ne voi aiheuttaa huonovointisuutta. Oma virtuaalinäyttely päätettiin toteuttaa niin, että museon seinälle tuli kosketusnäyttö, johon liitettiin tarpeeksi tehokas PC Unity pohjaisen näyttelyn pyörittämiseen.

4 Virtuaalinäyttelyn toteutus

4.1 Lähtötilanne

Tässä luvussa dokumentoidaan projektin keskeisimpiä työvaiheita. Luvussa käydään pääpiirteittäin läpi, millaisia työvaiheita väestönsuojan 3D-mallin ja virtualinäyttelyn rakentaminen vaatii. Projekti sai alkunsa Hämeen ammattikorkeakoulun kesällä järjestettävistä ohjelmistokehitysprojekteista. Kyseisen ohjelmistokehitysprojektin tavoitteena oli myös Unity-pelimoottorin käytön opettelu, joten se valittiin alustaksi virtuaalinäyttelyn toteuttamiseen.

Projektin aloitus ja pohjatyöt alkoivat projektiryhmissä kahden muun opiskelijan kanssa. Saimme aluksi käyttöömmä aikaisempien opiskelijoiden tekemän demoversion virtuaalinäyttelytoteutuksesta, jota myös projektin alussa esiteltiin Riihimäen kaupunginmuseon henkilökunnalle. Päädyimme kuitenkin aloittamaan oman projektimme puhtaalta pöydältä. Itselläni oli jo aikaisempaa kokemusta niin Unityn kuin myös 3Ds Maxin

käytöstä, mutta kahdella muulla ryhmässä olevalla opiskelijalla ei. Kesän alku kuluikin pitkälti näihin ohjelmiin tutustuessa. Kesäprojektien jälkeen jatkoin projektin toteuttamista yhteistyössä Riihimäen kaupunginmuseon henkilökunnan kanssa. Minun vastuullani oli virtuaaliosuuden toteutus. Tarvittavat materiaalit näyttelyä varten tuli kaupunginmuseon puolesta.

4.2 Pohjatyöt

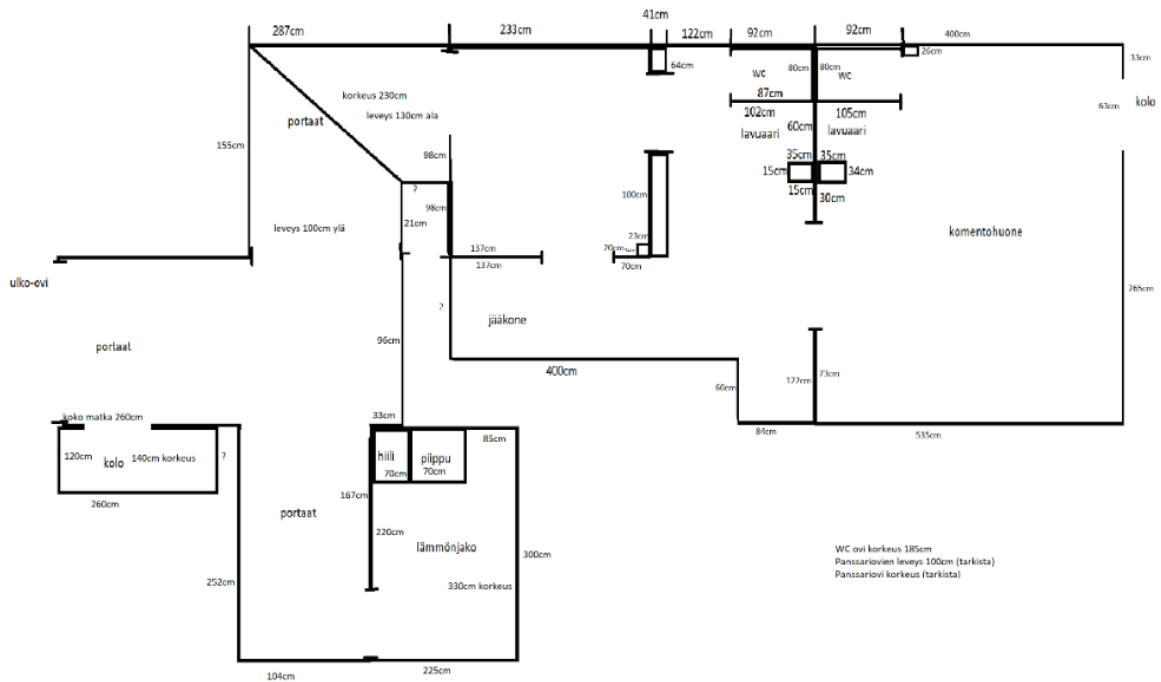
Väestönsuojan tiloista ei projektin alussa ollut käytettävissä pohjapiirustuksia, joten tilojen mallinnus tulisi tehdä täysin omien mittausten pohjalta. Vierailimme väestönsuojan tiloissa ja pyrimme kuvaamaan ja mittaamaan tilat mahdollisimman tarkasti. Väestönsuojan oma ulko-ovi oli mädäntynyt palasiksi ja ilkeivallan vuoksi sen oviaukko oli laitettu umpeen vanerilevyllä (kuva 9).

Kuva 9. Väestönsuojan sisäänkäynti



Ensimmäisen käynnin jälkeen hahmottelimme pohjakuvan, johon kirjasimme saamamme mitat mahdollisimman tarkkaan. Tarkan pohjaratkaisun sekä korkeuserojen hahmottaminen oli väestönsuojan ahtauden takia haastavaa, mutta ottamiemme mittausten avulla saimme tilat mallinnettua oikeassa mittakaavassa Unityyn (Kuva 10).

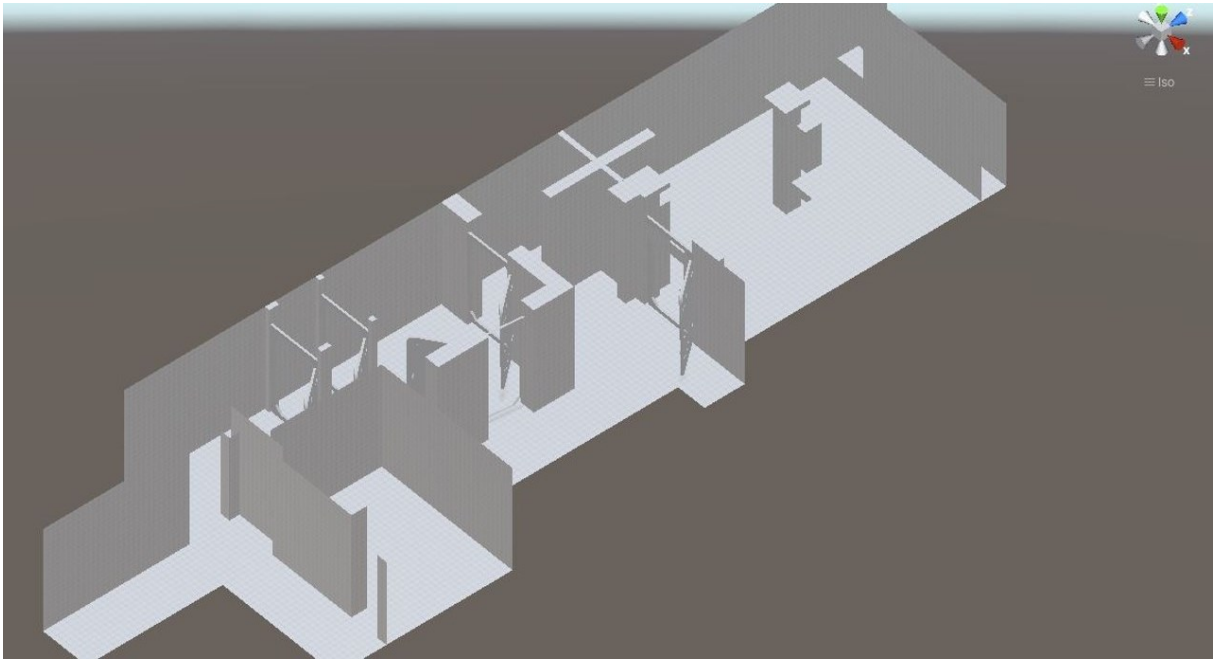
Kuva 10. Pohjapiirros väestönsuojasta



4.3 Virtuaaliympäristön rakentaminen Unityyn

Ensimmäisten mittausten pohjalta rakennettiin Unityyn ProBuilderia hyödyntäen hahmotelma tilojen pohjapiirroksesta (Kuva 10). Tässä vaiheessa ei ole vielä otettu huomioon korkeuseroja eikä tarkkoja mittasuhteita. Tämän ympärille alettiin rakentamaan 3D-objekteja sekä tulevan näyttelyn toiminnallisuuksia. Mallinnukseen tuotavat pienemmät objektit mallinnettiin 3ds Maxilla kuvien perusteella.

Kuva 11. 3D-mallin pohja



Väestönsuojan pohjaratkaisun mallinnuksen jälkeen alettiin työstämään tarkempaa mallia. Seuraavaan mallinnukseen tehtiin korkeuserot, lisättiin tekstuurit ja valot sekä sijoiteltiin muutamia objekteja, joita oli jo tässä vaiheessa mallinnettu (Kuva 12). Tarkempaa mallinnusta vaativat kappaleet mallinnettiin 3ds Maxissa kuvien perusteella (Kuva 13).

Kuva 12. 3D-malli väestönsuojasta



Kuva 13. Kuvan pohjalta mallinnettu lämmitysuuni



Väestönsuojan 3D-malli lopullisessa muodossaan (Kuva 14). Väestönsuojan tilat pyrittiin rakentamaan mahdollisimman tarkasti sellaisiksi, kuin ne ovat oletettavasti väestönsuojan ollessa käytössä olleet. Nykyisellään väestönsuojassa ei ollut kovin paljoa suurempia esineitä, joten pyrimme mallintamaan kaiken näkemämme tarkasti sähköjohtoja sekä vesiputkia myöten. Yhtenä lisänä alkuperäiseen väestönsuojaan lisättiin suurimman huoneen seinälle iso pommituskartta, josta näkee merkittävimmät pommituksissa tuhoutuneet alueet.

Kuva 14. Lopullinen 3D-malli



4.4 Näyttelyn toteutus

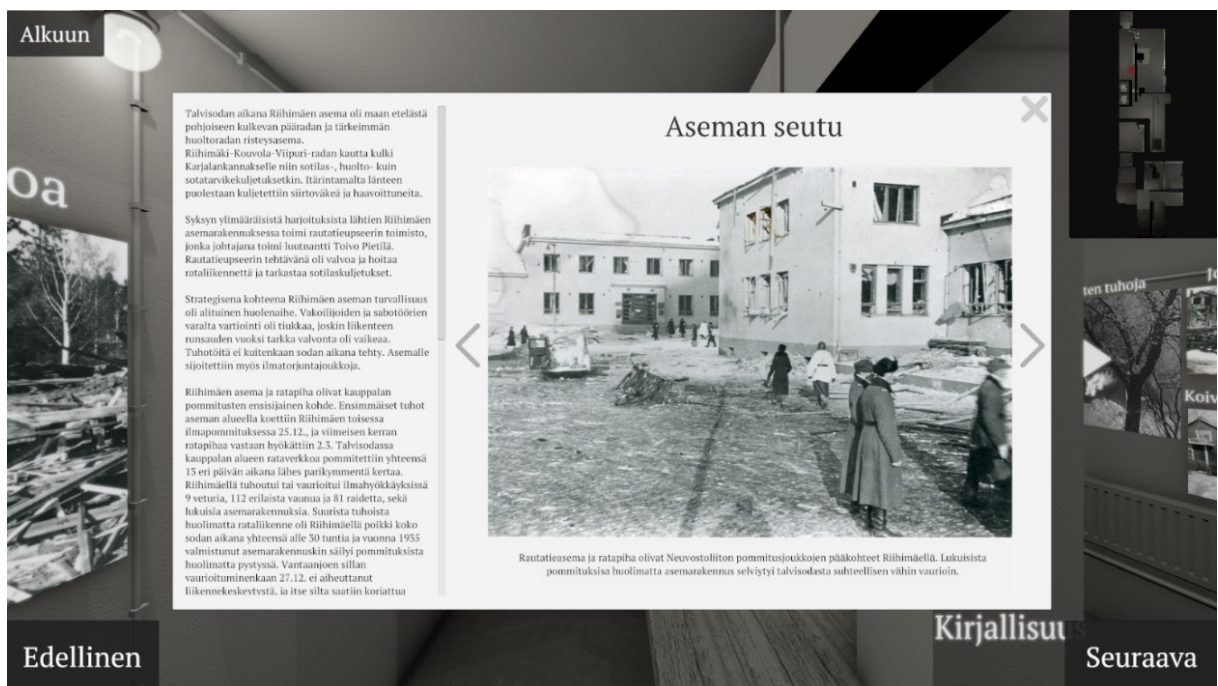
Mallinnetun väestönsuojan sisään rakennettiin itse virtuaalinäyttely. Projektin alussa kävimme lävitse muutamia eri versioita infotauluista. Yhtenä vaihtoehtona oli, että infotaulut ikään kuin kelluisivat hologrammimaisesti ympäri väestönsuojaa, mutta lopulta päädyimme selkeyden takia tekemään vain yksinkertaiset taulut väestönsuojan seinille. (Kuva 15).

Kuva 15. Infotauluja virtuaalinäyttelyn sisällä



Väestönsuojan seinille sijoitetuista tauluista kävijä pystyy avaamaan lisää kuvia sekä tietoa aiheeseen liittyen. Kuvia pystyy selaamaan pyyhkäisemällä kuvan kohdalta sivuille tai painamalla kuvan vieressä olevia nuolia. Tekstiosiota voi vierittää myös pyyhkäisyellä. (Kuva 16).

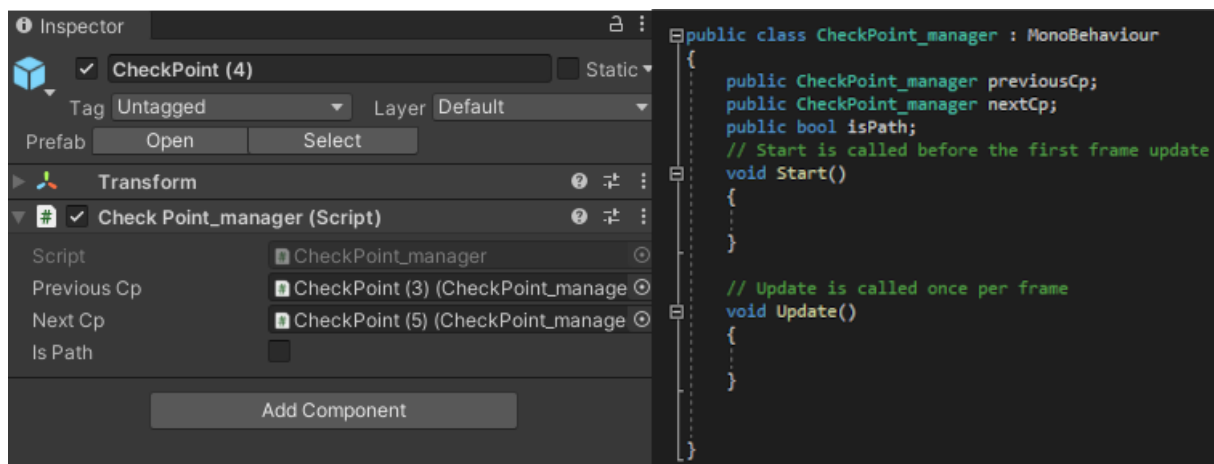
Kuva 16. Infotauluista avautuva näkymä



4.5 Navigaation toteutus

Navigaatio on toteutettu pysähdyspisteiden avulla. Jokaisen pisteen kohdalle määritetään edellinen ja seuraava pysähdyspiste. Pisteitä, joiden kautta kävijä kulkee, voi vapaasti lisätä niin monta kuin on tarpeen. Jokaiselle pisteelle täytyy määrittää edellinen piste sekä seuraava piste jonka lisäksi valitaan, onko kyseessä pysähdyspiste vaiko piste, jonka kautta kävijä kulkee siinä pysähtymättä. Checkpoint manager -skriptillä saadaan määriteltyä edellinen ja seuraava pysähdyspiste, sekä voidaan määrittää kyseinen piste joko pysähdyspisteeksi tai reitiksi (Kuva 17).

Kuva 17. Checkpoint manager



Player skriptin sisällä tarkistetaan pelaajan aktivoitessa joko nextCp tai previousCp -komennon, että pelaaja on pysähdyksissä jonka jälkeen määritetään aloituspiste tapahtuvalle liikkeelle (Kuva 18).

Kuva 18. Liike checkpointtien välillä

```

public class Player : MonoBehaviour {

    //Alustetaan aloitus checkpoint. Pelaajan Inspectorissa voidaan raahaa tähän mikä tahansa checkpoint (aloituspiste).
    public CheckPoint_manager currentCp;
    private Vector3 pos;
    bool next;
    bool moving;
    public float speed = 10f;
    private float startTime;
    public Transform startMarker;
    private float journeyLength;
    public GameObject newObject;
    public FirstPersonCamera ascript;

    // Use this for initialization
    void Start () {
        moving = false;
        pos = this.transform.position;
        playerRb = GetComponent<Rigidbody>();
        //siirretään pelaaja aloitus checkpointtiin
        transform.position = new Vector3(currentCp.transform.position.x, currentCp.transform.position.y, currentCp.transform.position.z);
    }

    public void nextCp()
    {
        if (currentCp.nextCp == null || moving)
            return;
        currentCp = currentCp.nextCp;
        startMarker = currentCp.previousCp.transform;
        Debug.Log("Now go here" + currentCp);
        next = true;
        startMoving();
    }

    public void previousCp()
    {
        if (currentCp.previousCp == null || moving)
            return;
        currentCp = currentCp.previousCp;
        startMarker = currentCp.nextCp.transform;
        next = false;
        startMoving();
    }
}

```

Player skriptin jälkimmäinen osa määrittää liikkeen nopeuden pelaajan nykyisen sijainnin ja seuraavan checkpointin mukaan, sekä tarkistaa, onko seuraava piste pysähdyspiste vai reitti, jos seuraava piste on reitti jatkaa pelaaja automaattisesti liikettä niin kauan, kunnes saapuu pisteelle, joka on määritelty pysähdyspisteeksi (Kuva 19).

Kuva 19. Matkan ja nopeuden määrittäminen

```

public void startMoving( )
{
    //Mittaa matkan ja aloittaa ajan
    startTime = Time.time;
    journeyLength = Vector3.Distance(transform.position, currentCp.transform.position);
    moving = true;
    //ascript.enabled = false;
}

void DebugPos(string desc, Vector3 pos)
{
    Debug.Log(desc + "X : " + pos.x + " ; Y : " + pos.y + " ; Z : " + pos.z);
}

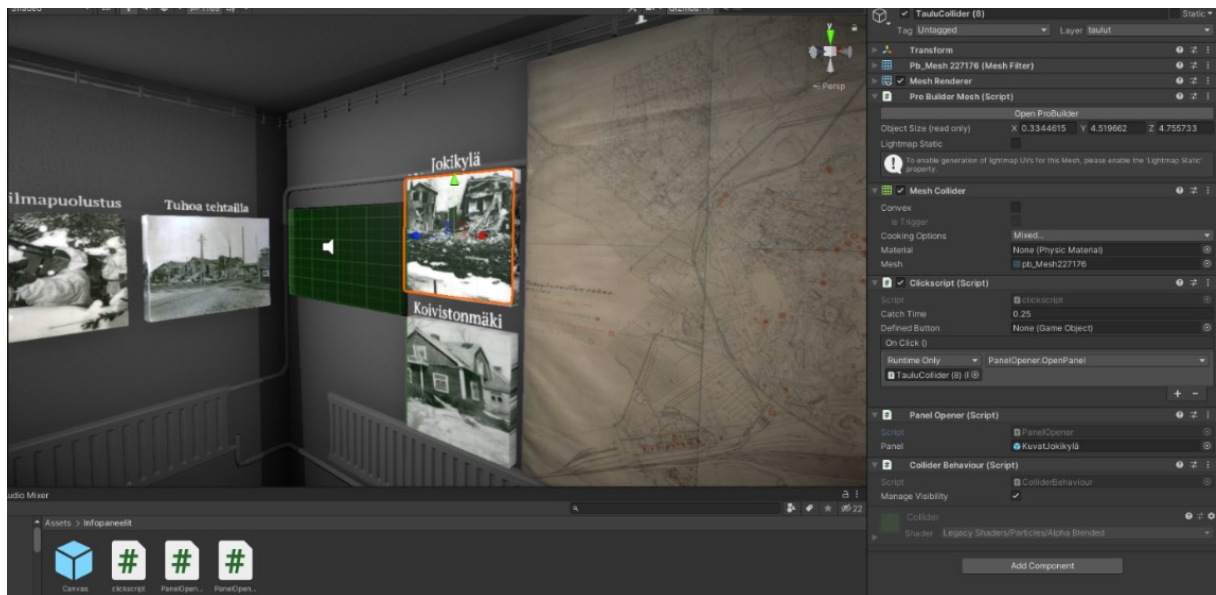
void Update() {
    if(moving)
    {
        float distCovered = (Time.time - startTime) * speed;
        float fracJourney = (distCovered / journeyLength);
        transform.position = Vector3.Lerp(startMarker.position, currentCp.transform.position, fracJourney);
        //Debug.Log("Frac arvo" + fracJourney);
        if(transform.position == currentCp.transform.position){
            moving = false;
            // ascript.enabled = true;
            if (currentCp.isPath)
            {
                if (next)
                    nextCp();
                else
                    previousCp();
            }
        }
    }
}

```

4.6 Infotaulujen toiminta ja sisällön tuonti

Taulujen päälle on sijoitettu collider-elementit. Kun käyttäjä painaa taulun kohdalta, se aktivoi Panel Opener -skriptin. Panel Openerin sisään voidaan erikseen määrittää tietty canvas, joka sitä painamalla aukenee. Nämä canvakset sisältävät varsinaiset näyttelymateriaalit. (Kuva 20)

Kuva 20. Infotaulujen collider-elementit



Koodi tarkistaa, että painallus osui itse tauluun eikä sen edessä olevaan elementtiin kuten canvaxseen tai seinärakenteisiin, näin vältetään siltä, että käyttäjä avaa paneelin vahingossa katsellessaan ympärilleen tai avaa muita paneeleita tarkastellessaan avoinna olevaa taulua. Näyttelyssä ympärilleen katsominen tapahtuu vierittämällä sormea kosketusnäytöllä, tämän takia taulujen avaamiselle on määritelty tuplaklikkaus-toiminto. CatchTime-muuttujaa käyttämällä voidaan määrittää tuplaklikkaukselle ajoitus. (Kuva 21)

Kuva 21. Collider elementtien klikkausskripti

```

public class clickscript : MonoBehaviour
{
    private float lastClickTime;

    public float catchTime = 0.25f;
    public GameObject definedButton;
    public UnityEvent OnClick = new UnityEvent();

    // Use this for initialization
    void Start () {
        definedButton = this.gameObject;
    }

    // Update is called once per frame
    void Update () {
        var ray = Camera.main.ScreenPointToRay(Input.mousePosition);
        RaycastHit Hit;

        if (Input.GetMouseButtonDown(0))
        {
            if (Time.time - lastClickTime < catchTime) {
                if (Physics.Raycast(ray, out Hit) && Hit.collider.gameObject == gameObject)
                {
                    if (EventSystem.current.IsPointerOverGameObject() == false)
                    {
                        Debug.Log("Button Clicked");
                        OnClick.Invoke();
                    }
                }
            }
            lastClickTime = Time.time;
        }
    }
}

```

Tällä koodinpätkällä pystytään määrittämään, minkä canvas-elementin kyseinen objekti avaa havaitessaan painalluksen. Tämä myös toimii kytkimenä taulun avaamiselle tai sulkeutumiselle riippuen sen nykyisestä tilasta, isActive-booleen muuttujan avulla pystytään samaan koodinpätkään sisällyttämään objektin aktivointi sekä deaktivointi (Kuva 22).

Kuva 22. Avattavan paneelin valinta

```

public class PanelOpener : MonoBehaviour
{
    public GameObject Panel;

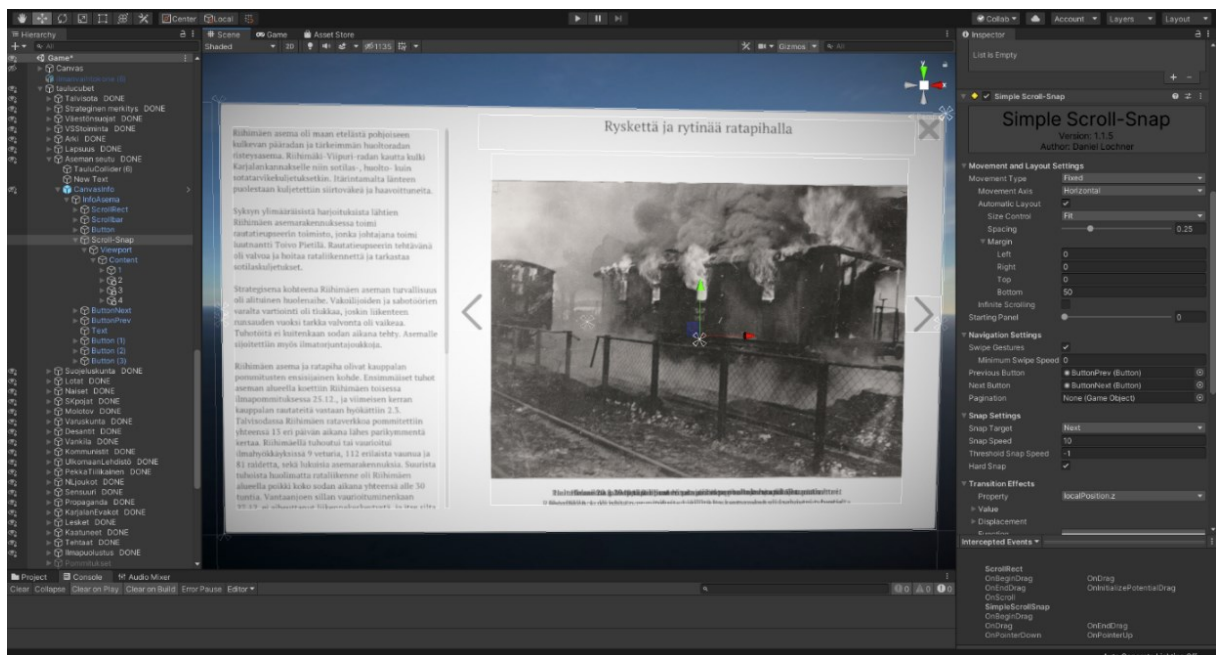
    public void OpenPanel()
    {
        if(Panel != null)
        {
            bool isActive = Panel.isActiveSelf;

            Panel.SetActive(!isActive);
        }
    }
}

```

Infotauluihin piti sisällyttää useita eri kuvia saman otsikon alle. Ratkaisuna tähän päädyttiin käyttämään Unityn storesta löytyvää Simple Scroll-Snap -asettia. Työkalun avulla yhteen elementtiin pystytään viemään useampi kuva ja näille lisätä erikseen omat kuvatekstinsä. Käyttäjä voi selata kuvia joko painamalla nuolinäppäimistä tai pyyhkäisemällä sivuille kuvan päältä. Tekstiosiot ovat lisätty Unityn oman scroll rect -komponentin sisään. (Kuva 23)

Kuva 23. Infotaulun rakenne



4.7 Jatkokehitys

Jos projektin tekemiseen olisi ollut vielä enemmän aikaa, sen visuaalista ilmettä olisi voinut vielä parannella. Projektin deadline johdosta pyrittiin näyttelyn ominaisuudet hiomaan mahdollisimman toimiviksi, eikä visuaaliseen ilmeeseen niinkään puututtu. Olisin myös varannut virtuaalinäyttelyn testaamiselle käytännössä enemmän aikaa. Projektia voisi myös vielä myös jatko kehittää eri alustoille, tämä olisi myös suhteellisen helppoa, koska Unity tukee laajasti eri alustoja kuten mobiilialustat ja WebGL. Virtuaalinäyttelyn voisi myös toteuttaa vielä VR-laseille, mutta tämä vaatisi hieman enemmän työtä.

5 Yhteenveto

Niin virtuaalinäyttely, kuin museoalakin kokonaisuudessaan, oli aiheena ennen tätä projektia itselleni täysin tuntematon. Projekti oli kaiken kaikkiaan tekniseltä osuudeltaan hyvin opettavainen ja teknisen osuuden lisäksi pääsi myös perehtymään hieman museoalan toimintaan. Virtuaalinäyttely onnistui mielestäni hyvin huolimatta siitä, ettei tämän mittakaavan projektista ollut aikaisempaa kokemusta, projektin alkuperäiset tavoitteet tuli toteutettua lähes täysimittaisesti. Riihimäen kaupunginmuseo oli myös tyytyväinen lopputulokseen ja näyttely otettiin käyttöön osaksi pysyvää perusnäyttelyä.

Kaupunginmuseon kävijöiltä on myös saatu positiivista palautetta. Haastavimmaksi osuudeksi opinnäytetyössä osoittautui projektin dokumentointi ja tämän opinnäytetyön kirjoittaminen. Työn edetessä tuli tehtyä useita eri versioita ja kokeiltua kymmeniä eri ratkaisuja, mutta näitä ei juurikaan dokumentoitu millään tavalla.

Työläimmäksi yksittäiseksi vaiheeksi virtuaalinäyttelyn toteutuksessa osoittautui itse näyttelymateriaalin tuonti Unityyn. Kaikki kuvat ja tekstit piti lisätä yksitellen käsin infotauluihin. Tähän varmasti voisi jatkossa kehittää jonkinlaista automaatiota, jolla voitaisiin näyttelymateriaaleja hallita myös Unity-editorin ulkopuolella. Projekti kokonaisuudessaan eteni pitkälti kokeilemalla erehdyksen kautta ja aikaa kului paljon myös erilaisten versioiden kokeilemiseen. Seuraava vastaava projekti valmistuisi varmasti paljon nopeammin. Projektilla oli myöskin ennalta määritelty deadline, ja tämän johdosta jotkin pienemmät yksityiskohdat jäivät vielä hiomatta loppuun.

Alustana Unity oli mielestäni hyvä valinta tähän projektiin, vaikkei lopputulos eroakkaan toiminnallisuuksiltaan paljoa esimerkiksi Krpano-alustalle toteutetusta näyttelystä. Jos väestönsuojan tilat olisivat olleet paremmassa kunnossa, olisi käsin mallintamisen sijasta voitu käyttää myös fotogrammetriaa, jolloin olisi saatu huomattavasti pienemmällä määrällä työtä visuaalisesti näyttävämpi lopputulos toteutettua Krpanolla. Unitylle tehdyssä toteutuksessa taas on etuna valmiisiin virtuaalinäyttelyratkaisuihin se, että näyttelyn ominaisuuksia voi kustomoida ja kehittää eteenpäin itse.

Jälkeenpäin ajateltuna projektin suunnitteluun ja pohjatöihin olisi voinut käyttää enemmän aikaa. Projektin lähtökohtana oli, että mallinnetaan väestönsuojan tilat mahdollisimman tarkkaan ja vasta tämän jälkeen rakennetaan näyttelyn toiminnollisuus sen ympärille, tämän vuoksi navigoinnin suhteen jouduttiin tekemään joitakin kompromisseja. Projektin alussa emme myöskään perehtyneet tarpeeksi virtuaalinäyttelyiden teoriaan. Seuraavaa vastaavaa projektia lähtisin tekemään painottaen käytettävyyttä ja saavutettavuutta heti projektin alusta alkaen.

Lähteet

Autodesk. (n.d.).

<https://www.autodesk.fi/products/3ds-max/overview?term=1-YEAR>

Blender. (n.d.).

<https://www.blender.org/>

Carmo, M. B., Cláudio, A. (20.5.2013). 3D Virtual Exhibitions.

<https://doi.org/10.14429/djlit.33.3.4608>

Daniela, L. (2020). Virtual Museums as Learning Agents.

<https://doi.org/10.3390/su12072698>

Dougherty, D. (n.d.). KRpano Tutorial: How to Create a Panorama or Virtual Tour with

krpano. <https://veer.tv/blog/krpano-tutorial-how-to-create-a-panorama-or-virtual-tour-with-krpano/>

Ferrara, V., Sapia, S. (2013). How Technology Helps to Create New Learning Environments by Use Digital Museum Resource. *Procedia, social and behavioral sciences*.

<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.12.150>

Google. (n.d.). *Google Arts & Culture*.

<https://artsandculture.google.com/>

Hurşit, S. C., Hüseyin, Ö., Cihan, Ç., Alev, C. K. (2013). DESIDOC Journal of Library & Information Technology. DESIDOC. doi: 10.14429/djlit.33.4603

Ioannis, P. & Gerassimos, K. (2008). Implementation of Virtual Museums for School Use.

<https://doi.org/10.18848/1835-2014/CGP/v01i01/44514>

Krpano. (n.d.).

<https://krpano.com/home/>

Laine-Zamojska, M. (2011). Virtual Museum and Small Museums: ViMuseo.fi Project.

<http://urn.fi/URN:NBN:fi:jyu-201202021114>

Matterport. (n.d.).

<https://matterport.com/>

Museovirasto. (n.d.).

<https://www.museovirasto.fi/fi/avustukset/innovatiiviset-hankkeet>

Petty, J. (n.d.). What is Unity 3D & What is it Used For?

<https://conceptartempire.com/what-is-unity/>

Schubert, F., Yin-Leng, T., Dion, H.-L. G., Jin-Cheon, N. (2009). From Digital Archives to Virtual Exhibitions. IGI Global. doi: 10.4018/978-1-59904-879-6.ch009

Suomen lasimuseo. (n.d.).

<https://www.suomenlasimuseo.fi/virtuaaliesittely>

Unity. (n.d.).

<https://unity.com/our-company>

Universal Museum of Art. (2019). *Presentation kit*.

<https://legacy-uma.org/wp-content/uploads/2018/04/Press-Kit-UMA.pdf>

Universal Museum of Art. (n.d.).

<http://www.the-uma.org/>