



Kasper Leppänen

# Virtuaalisten ympäristöjen luonti LED-volyymille

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Muotoilija (AMK)

Muotoilun tutkinto-ohjelma

Opinnäytetyö

11.4.2024

## Tiivistelmä

Tekijä(t):	Kasper Leppänen
Otsikko:	Virtuaalisten ympäristöjen luonti LED-volyymille
Sivumäärä:	33 sivua + 1 liite
Aika:	11.4.2024
Tutkinto:	Muotoilija (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Muotoilun tutkinto-ohjelma
Pääaine:	Visuaalisen viestinnän muotoilu
Ohjaaja(t):	Lehtori Samuli Homanen

---

Virtuaalituotantoa pyritään jatkuvasti kehittämään eteenpäin ja luomaan uudenlaisia työkaluja sisällöntuottamista varten. Tässä opinnäytetyössä esitelläänkin eri keinoja luoda virtuaalisia ympäristöjä ja avataan niiden tuomia mahdollisuuksia sekä haasteita. Työssä käydään lopulta tarkemmin, mikä merkitys 3D-mallintamalla tuotetuilla virtuaalisilla ympäristöillä on, mitä niissä on hyvä ottaa huomioon ja millaisiin käyttötarpeisiin ne soveltuvat.

Toiminnallisessa osuudessa rakennetaan kokonaan 3D-mallinnettu ympäristö ja käytetään osittain opinnäytetyössä mainittuja keinoja luoda sisältöä sitä varten. Lopuksi projekti tuodaan pelimoottoriin, jonka avulla se esitellään LED-volyymillä.

Opinnäytetyön tarkoitus on luoda käsitys siitä, millä eri tavoin virtuaalisia ympäristöjä voidaan luoda virtuaalituotannossa, ja antaa lisäinformaatiota alasta kiinnostuneille.

Asiasanat: Unreal Engine, virtuaalituotanto, 3D-mallinnus, Blueprint

---

Opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

## Abstract

Author(s): Kasper Leppänen  
Title: Creation of Virtual Environments for Led Volume  
Number of Pages: 33 pages + 1 appendix  
Date: 11 April 2024

Degree: Bachelor of Culture and Arts  
Degree Programme: Design  
Major: Visual Communication Design  
Instructor(s): Samuli Homanen, Senior Lecturer

---

Virtual production is constantly being developed and new tools are being created for content creation. This thesis introduces various ways of creating virtual environments and explores the possibilities and challenges they bring. In-depth section explains the significance of virtual environments produced by 3D modeling, along with considerations and suitability for different cases.

As part of this thesis, a fully 3D-modeled environment is constructed, utilizing some of the content creation methods mentioned in the thesis. Finally, the project is imported into a game engine and presented in an LED volume.

The purpose of the thesis is to provide an understanding of different methods of creating virtual environments for virtual production and to provide additional information for those interested in the field.

Keywords: Unreal Engine, virtual production, 3D modeling, Blueprint

---

This thesis has been checked using Turnitin Originality Check service.

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Virtuaalituotanto	2
2.1	Unreal Engine -pelimoottori	4
2.2	LED-Volyymi	5
2.3	Virtuaalituotannon kehitys	7
3	Keinoja virtuaaliympäristöjen luomiseen LED-volyymille	8
3.1	2D-taustat	9
3.2	Simulaatiot	10
3.3	LiDAR-skannaus ja fotogrammetria	12
3.4	3D-mallinnettu ympäristö	14
4	Virtuaalisen ympäristön luonti ja toteutuksen reflektointi	16
4.1	3D-mallien hahmottaminen ja ympäristön suunnittelu	17
4.2	3D-mallinnus ja teksturointi	18
4.3	Ympäristön luominen ja 3D-mallien tuonti pelimoottoriin	23
4.4	Blueprintit ja viimeistely	27
5	Yhteenveto	30
	Lähteet	31
	Kuvalähteet	32
	Liitteet	34
	Liite 1. Virtuaalisen ympäristön esittelyvideo	34

# 1 Johdanto

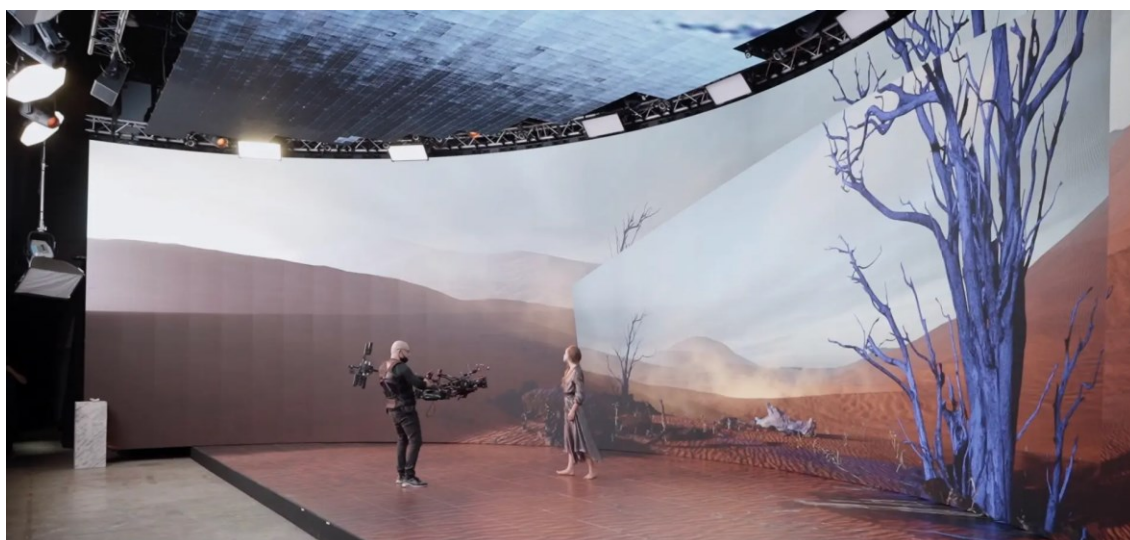
Tässä opinnäytetyössä tarkoitukseni on luoda käsitys siitä, miten virtuaalisia ympäristöjä luodaan LED-volyymikäyttötarkoitukseen virtuaalituotannossa. Vaikka virtuaalituotannossa on monta erilaista keinoa tehdä virtuaalisia ympäristöjä, käsittelen opinnäytetyössäni sellaisia tapoja, jotka ovat itselleni tuttuja Fireframe Studiolla työskentelystä ja joita projektiosuudessa itse käytin. Lopuksi syvennyn tarkemmin 3D-mallinnettuun ympäristöön ja sen tuomiseen Unreal Engine -pelimoottoriin.

Työssäni avaan tarkemmin, millaisiin käyttötarpeisiin keinot soveltuvat ja minkälaisia haasteita ne tuovat mukanaan. Aiheesta ei hirveän kattavaa dokumentointia ole vielä tällä hetkellä suomen kielellä löydettävissä, mutta opinnäytetyössäni pyrin käyttämään itse keräämääni aineistoa mahdollisimman paljon.

Kerron myös projektiosuudessa havainnollistavana esimerkkinä virtuaaliympäristön luomisesta, jonka olen tehnyt työkaverini kanssa yhteistyönä työskennellessäni Fireframe Studiolla, ja mitä lähestymistapoja siinä itse käytin. Pyrin avaamaan kokonaisprosessista työvaiheiden avulla sopivan kattavan kokonaisuuden tukemaan opinnäytetyön tekstiä. Tavoitteena tutkielmalla on tuoda alasta jo tiedäville ja kiinnostuneille enemmän tietoa aiheesta ja mahdollisesti avata virtuaalisten ympäristöjen tarkoitusta ja luontiprosessia paremmin.

## 2 Virtuaalituotanto

Virtuaalituotannossa on kyse tuotantoprosessista, jossa näyttelijät ja lavasteet yhdistetään tietokoneella luotuihin virtuaalisiin ympäristöihin. Keskeisimpänä elementtinä virtuaalituotannossa ovat LED-volyymit, jotka luovat ympärilleen virtuaalisen näyttämön, missä näyttelijöiden ympärillä olevalla LED-seinällä voidaan toistaa tietokoneella luotua grafiikkaa ja muokata sitä reaaliajassa. Reaaliaikaisen renderöinnin avulla pystytään näkemään visuaalisten efektien lopputulos hetkessä kuvauspaikalla ja tekemään halutut muutokset nopeasti. Kuvassa 1 on esimerkki tilanteesta, jossa kuvaaja ja näyttelijä ovat vuorovaikutuksessa LED-seinän edessä.



Kuva 1. Havainnekuva kuvaustilanteesta PRG:n ja MADO XR:n luomalla LED-volyymillä (Bromtontech 2021).

Tärkeimpinä elementteinä virtuaalituotannossa ovat LED-paneelit, joilla toistetaan haluttua kuvamateriaalia, reaaliajassa renderöivä pelimoottori ja kameroiden seurantaan tarvittava liikkeentunnistusjärjestelmä. Vaikka virtuaalituotantoon kuuluu paljon muutakin, tässä opinnäytetyössä keskityn kuitenkin keinoihin luoda virtuaalisia ympäristöjä LED-volyymille.

Virtuaalituotantoa käytetään nykypäivänä yhä enemmän esimerkiksi televisiosarjojen ja elokuvien tuotannossa. Suurena etuna virtuaalinen ympäristö tuokin mahdollisuuden kuvata useita eri kohtauksia lokaatioissa eli paikoissa, joihin normaalisti olisi hankalaa ja kallista päästä kuvausryhmän kanssa. Kuvassa 2 näkyy esimerkki vuonna 2019 Industrial Light & Magicin (ILM) julkaisemasta sarjasta The Mandalorian. Covid-19 aiheutti tuohon aikaan tuotantotiimille haasteita kuvauspaikkojen löytämisessä, joten sarjaa varten ILM kehitti valtavan Stagecraftiksi kutsutun 270-asteisen LED-volyymin yhdessä Epic Gamesin kanssa. (Coldewey 2020.)



Kuva 2. Kohtaus The Mandalorian sarjasta LED-volyymillä (Coldewey 2020).

Stagecraftin mahdollistama 3D-ympäristöjen toistaminen LED-seinällä ei ollut itsessään tekniikan mullistavin osio vaan se, että kameran seurantateknologian avulla todellisen kameran liikkeit ja sijainti peilaantuivat suoraan ympäristössä olevaan virtuaaliseen kameraan reaaliajassa. Stagecraftin avulla pystyttiin myös Mandalorianin päähahmolla olevasta kiiltävästä haarniskasta poistamaan kokonaan vihreät heijastukset, joita normaalisti esiintyisi perinteisen vihreän kankaan (engl. Green screen) kanssa kuvattaessa. Mandalorianin tuotantoprosessi oli

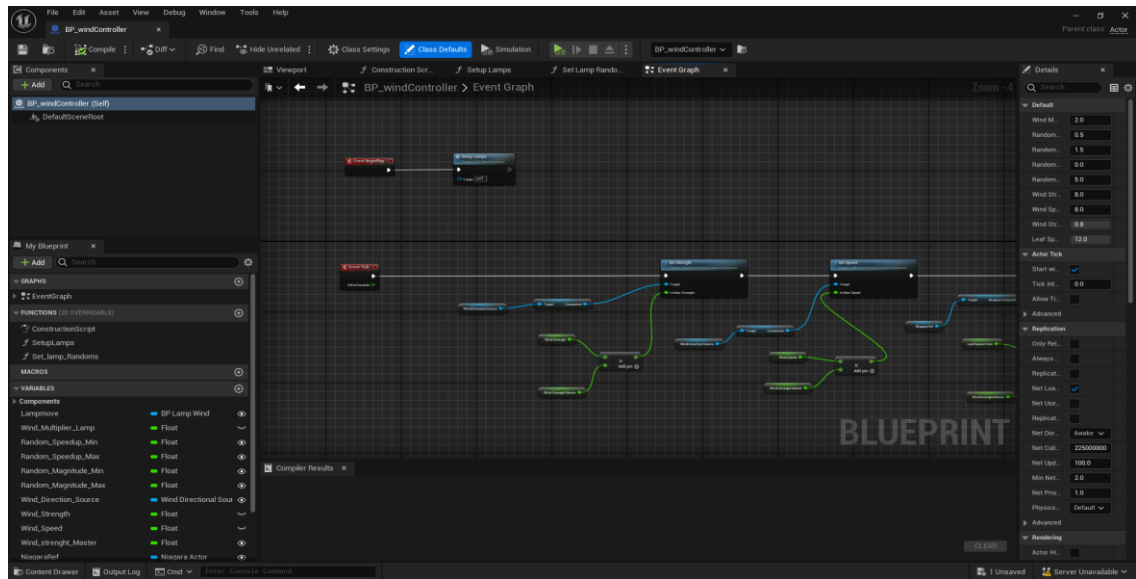
siis täysin erilainen kuin mitä aiemmin oli tehty, ja sen jälkeen teknologiaa onkin hyödynnetty yhä useammassa tuotannoissa, kuten Obi-Wan Kenobi, Andor, House of the Dragon sekä monet muut televisio- ja elokuvatuotannot.

## 2.1 Unreal Engine -pelimoottori

Epic gamesin kehittämä tehokas pelimoottori Unreal engine on saanut alkunsa vuoden 1998 julkaistun Unreal-nimisen pelin kehityksen myötä. Alun perin Unreal engine olikin suunnattu ensimmäisen persoonan peleihin, mutta erittäin korkean suorituskykynsä ansiosta siitä on tullut tärkeä työkalu elokuva- ja televisio-teollisuudessa. Unreal engine itsessään perustuu C++ -ohjelmointikielen, joka on tuttu pelimaailmassa, erilaisissa sovelluksissa tai järjestelmäohjelmistoissa. Yksi suurimmista muutoksista kuitenkin Unreal engineen tapahtui vuonna 2014 kun Unreal engine 4 julkaistiin. Se toi mukanaan esimerkiksi laadukkaammat grafiikat, reaaliaikaisen muokkauksen ja Blueprint visual scripting -järjestelmän, jonka avulla pystytään luomaan interaktiivisia toimintoja ilman yhtäkään riviä koodia visuaalisen käyttöliittymän avulla. (Jensen 2023.)

Virtuaalituotannossa Blueprintit mahdollistavat esimerkiksi erilaisten toimintojen ja interaktiivisten elementtien luomisen kuten vuorovaikutteiset ympäristöt, erikoistehosteet tai hahmoanimaatiot. Lisäksi Blueprintien avulla pystytään keskittämään interaktiivisten toimintojen rakentaminen yhdelle ihmiselle, mikä on aiemmin ohjelmointivaiheessa voinut tarvita usean ihmisen yhteistyön. Tämä tekee työskentelystä kustannustehokkaampaa ja nopeampaa. Pelimaailmassa ehkä yksi tunnetuimmista ja menestyksekkäimmistä peleistä tuttu vuonna 2017 julkaistu Fortnite on Epic Gamesin kehittämä kolmannen persoonan toimintapeli ja hyödyntää laajasti kyseistä Blueprint-järjestelmää C++kielen lisäksi. Ohessa kuva 3, jossa on esimerkkikuva rakentamistani Blueprintistä ja siitä miltä järjestelmä näyttää. Projektiosuudessa kerron tarkemmin, millä tavalla rakensin Blueprint-toimintoja virtuaaliympäristöä varten.





Kuva 3. Esimerkkikuva Blueprint-järjestelmästä, jonka rakensin.

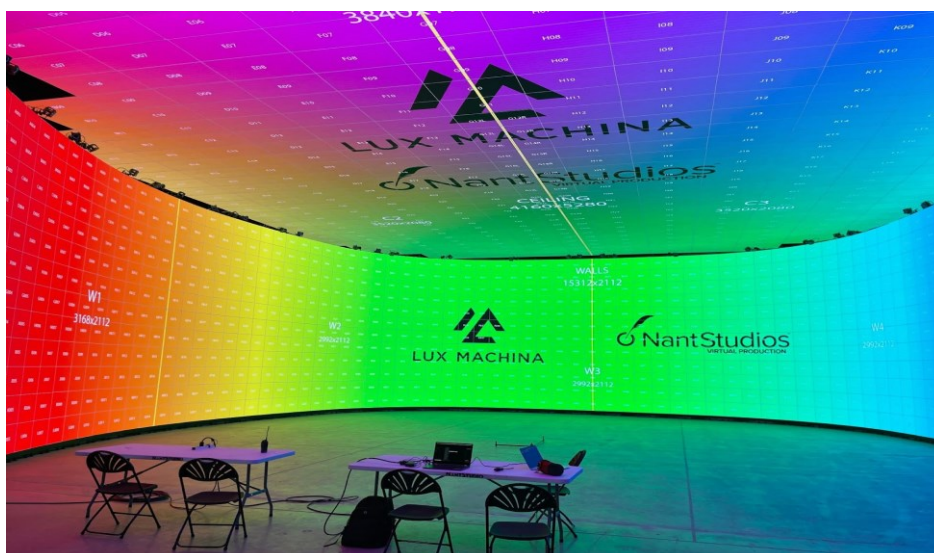
Vaikka Unreal Engine on kehitetty alun perin pelejä varten, sen rooli on valtava virtuaalituotannossa, ja sen ehkä tärkein ominaisuus onkin mahdollisuus luoda reaaliajassa muokattavia fotorealistisia virtuaalisia ympäristöjä. Epic Gamesin tarjoama Marketplace ja Quixel Megascan-kirjasto tarjoavat tähän käyttöön erittäin laajan valikoiman erilaisista skannatuista malleista valmiisiin Blueprint-toimintoihin asti. Isona etuna Unreal Enginessä on sen täysin ilmainen käyttö siihen asti, kunnes käyttäjän tai yrityksen liikevaihto ylittää miljoona euroa. Sen lisäksi Unrealilla on valtava yhteisö, jossa jaetaan avoimesti tietoa ja resursseja, minkä takia itsekin kyseisestä pelimoottorista kiinnostuin.

## 2.2 LED-Volyymi

LED-volyymillä viitataan virtuaalituotannossa käytettävään tilaan, joka koostuu liikkeen seurantajärjestelmään synkronoiduista kameroista, toisiinsa linkitetyistä LED-paneeleista muodostuvasta seinästä sekä eri tuotannoissa käytettävistä fyysisistä lavasteista. Tilassa käytettävää tekniikkaa kutsutaan nimellä In-camera visual effects (ICVFX), ja sitä voidaan hyödyntää kolmiulotteisten kohtaus-

ten luomisessa sekä saumattoman illuusion saavuttamisessa. ICVFX mahdollistaa visuaalisten efektien suoran tallentamisen kameraan, mikä vähentää niiden tarvetta jälkikäsitellyssä ja antaa mahdollisuuden nähdä lopullisen kuvan reaaliajassa kuvauspaikalla.

Syvyyden vaikutelma saavutetaan synkronoimalla kuvauksissa käytettävä fyysinen kamera Unreal Enginen virtuaalikameraan. Tämä avulla simuloidaan syvyyden vaikutusta toistettavassa materiaalissa, kun fyysistä kameraa liikutetaan. (Perforce.com 2023.) LED-paneeleista koostuva seinä voidaan jakaa useampaan osaan, ja ne voidaan järjestää kaarevaan tai litteään muotoon, kuten kuvasta 4 ilmenee.



Kuva 4. Lux Machinan ja NantStudiosin rakennuttama LED-volyymi Kaliforniassa (Lux Machina 2020).

Paneeleista usein osa onkin liikuteltavassa muodossa, jolloin tarvittaessa yhden seinän voi siirtää esimerkiksi lähemmäksi näyttelijöitä valaistakseen kohtauksen paremmin tai luodakseen tietyn kuvakulman kuvaajalle. Yksi avaintekijöistä LED-seinän kanssa kuvattaessa onkin dynaaminen kuvapohjainen valaistus (engl. IBL) tarkoittaen siis suoraan videomateriaalista säteilevää valoa, joka heijastuu fyysisiin lavasteisiin ja näyttelijöihin. Vaikka LED-seinällä saadaan korkeat valaistustasot aikaiseksi, käytetään silti paikan päällä olevia valoja esimerkiksi tiettyjen kohteiden valaisemiseen tai korostukseen.

## 2.3 Virtuaalituotannon kehitys

Virtuaalituotannolla on jo vuosikymmenien historia, ja pääsääntöisesti sitä hyödynnettiin projisoimalla kuvattua materiaalia näyttelijöiden takana olevalle valkokankaalle. Virtuaalituotanto nousi kuitenkin paremmin esille 2000-luvun alussa, kun teknologia sekä tietokoneet kehittyivät ja mahdollistivat paremman grafiikan toistamisen sekä realistisempien ympäristöjen tekemisen. Teknologian lisäksi kehittyneet työkalut, sekä ohjelmistot avasivat uusia mahdollisuuksia elokuva-tuotannossa ja antoivat suunnittelijoille entistä laajemman pelikentän luoda digitaalista sisältöä virtuaalituotannossa. (Oseman 2022).

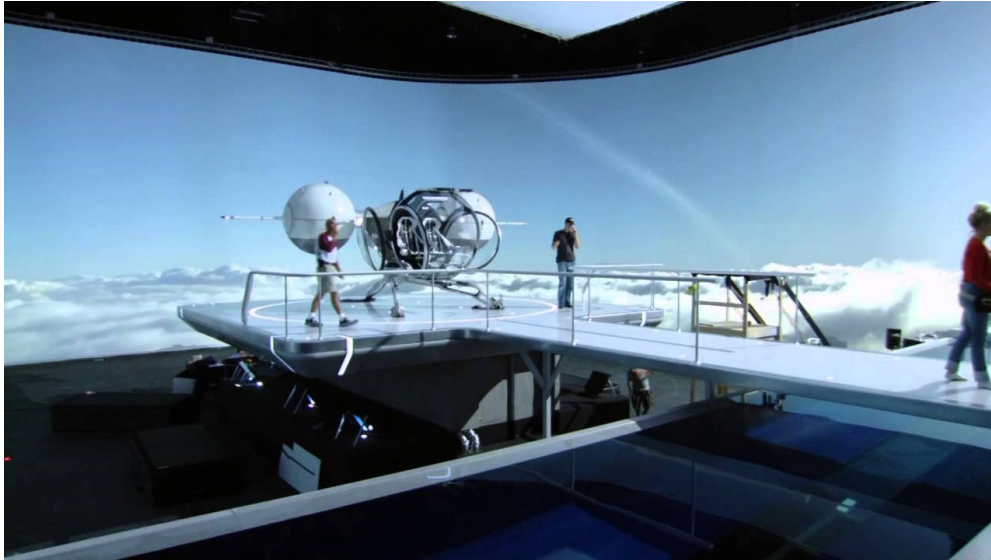
Virtuaalituotannon vauhdikkaan kehittymisen myötä etenkin vuonna 2009 julkaistuun James Cameronin ohjaamaan elokuvaan *Avatar* pystyttiin luomaan kuvassa 5 näkyvä edistyksellinen liikkeentunnistusjärjestelmä (performance capture), jonka avulla näyttelijöiden ilmeet pystyttiin tallentamaan ja yhdistämään heidän liikkeisiinsä reaaliajassa.



Kuva 5. Jaettu esimerkkikuva Avatarin performance capture -tekniikasta ja lopputuloksesta (Paur 2022).

Ennen LED-seinien laajempaa käyttöä virtuaalituotannossa vuonna 2013 julkaistussa elokuvassa *Oblivion* käytettiin vielä projisiotekniikkaa eli kuvamateriaalin heijastamista näyttelijöiden ja lavastuksen takana olevalle valkokankaalle. Kuvassa 6 näkyy elokuvan kohtausta taivastornista, jota varten rakennutettiin

koko lavan ympäröivä valkokangas, johon projisoitiin pilvien yltä kuvattua materiaalia, ja sen avulla saatiin myös realistiset heijastukset ja valaistus kohtaukseen.



Kuva 6. Taivastorni Oblivion-elokuvasta (Oseman 2022).

Projisointitekniikan jälkeen ensimmäinen LED-seinän laaja ilmentymä virtuaali-tuotannossa olikin aiemmin mainitsemani sarja Mandalorian, joka hyödynsi useissa kohtauksissa virtuaalisia ympäristöjä. LED-seinien käyttö on yleistynyt etenkin elokuva- ja tv-alalla sen monipuolisuuden sekä kustannustehokkaampien työskentelytapojen takia. LED-seinän käyttäminen on myös tuonut mukanaan useita mahdollisuuksia luoda virtuaalisia ympäristöjä, joista muutamia esimerkkejä avaan seuraavassa luvussa hieman tarkemmin.

### **3 Keinoja virtuaaliympäristöjen luomiseen LED-volyymille**

Vaikka virtuaaliympäristöjen luominen LED-volyymille voi tapahtua monella eri tavoin, on hyvä ottaa huomioon tekniikoiden vahvuudet ja sopivuus tuotannon budjettiin, tarpeisiin ja tavoitteisiin nähden. Esimerkiksi ajokohtauksia sisältävät tuotannot on lähes aina helpompi ja kustannustehokkaampi tehdä 2D-pintoja

hyödyntäen, kun taas paljon digitaalisia hahmoja tai fantasiamaailmoja sisältävät kohtaukset on luotava 3D-mallintamalla (Zwerman 2023).

LED-volyymien käyttö virtuaalituotannossa avaa monia mahdollisuuksia ja vaatii suunnittelijoilta monipuoliset tekniset taidot sekä työkalut ympäristöjen luomista varten. Tässä luvussa esittelenkin sellaisia keinoja, jotka ovat itselleni tuttuja työni kannalta ja joita olen projektiosuudessani käyttänyt.

### 3.1 2D-taustat

Virtuaalituotannossa yhtenä toimintamenetelmänä on käyttää esirenderöityjä 2D-pintoja (engl. 2D-plates) LED-seinällä. Levyt koostuvat yleensä staattisista kuvista tai erilaisia maisemia sisältävistä videoista, ja ne ovat käytännöllisiä, kun kuvauksissa halutaan saada esimerkiksi laaja maisema taustalle ja fyysisen kamerasen liikkeitä ovat minimaalisia. 2D-pintoja voidaan luoda perinteisesti valokuvaamalla todellisista paikoista korkearesoluutioisia kuvia ja jälkikäsittelemällä niitä esimerkiksi Photoshop-kuvanmuokkausohjelmalla tai tallentamalla videomateriaalia esimerkiksi autokuvauksissa käytettävillä kameratelineillä, jotka simuloivat autojen liikettä ja näkökulmaa. (Disguise 2023.)

2D-pintoja suositaan virtuaalituotannossa erityisesti autokohtauksia kuvatessa, musiikkivideoissa tai mainoksissa. Tekniikkaa käytti esimerkiksi vuonna 2022 julkaistu See-Saw Filmsin sarja *Heartstopper*. Kyseinen tuotantotiimi päätyi käyttämään virtuaalituotantoa sarjan kohtauksessa, jossa bussilla matkustaa 50 nuorta kohti Pariisia. Kohtaus olisi ollut lähes mahdotonta suorittaa yleisillä teillä säämuutosten ja turvallisuuden takia.

Kuvassa 7 nähdään, miten kohtausta varten Virtual Production Studios by 80six rakennutti hevosenkengän mallisen LED-seinän, jonka avulla pystyttiin ajamaan bussi rakennelman keskelle ja kuvaamaan kohtaukset useasta suunnasta.



Kuva 7. Ylempänä kuvassa Heartstopper-sarjassa käytetty LED-seinä ja alhaalla kuvassa kohtauksen lopputulos (Virtualproductionstudios i.a.).

Vaikka 2D-pintojen käyttäminen on kustannustehokasta ja nopeampaa, se tuo esiin omat haasteensa. Pintojen kanssa työskennellessä luovutaan esimerkiksi kokonaan kameran seurantateknologiasta, jolloin parallaxin luomaa syvyyttä ei pystytä saavuttamaan. Esirenderöityihin materiaaleihin on myös mahdoton tehdä nopeita reaaliaikaisia muutoksia, joita mahdollisesti kuvausten aikana ilmenee. Tekniikkaa käytettäessä on siis hyvä varmistaa taustojen toimivuus näyttelijöiden ja rekvisiitan kanssa useampaan kertaan ennen oikeaa kuvaustilannetta.

### 3.2 Simulaatiot

Realistisemmän lopputuloksen saamiseksi virtuaalituotannossa voidaan hyödyntää ympäristöissä erilaisia simulaatioita, joiden tavoite on jäljitellä esimerkiksi sään vaihtumista, räjähdyksiä, veden liikettä tai savua. Virtuaaliset simu-

laatiot voidaan myös yhdistää kuvaustilanteessa lavalla esimerkiksi savukoneilla, tuulikoneilla tai vedellä aitouden tunteen jäljittelemiseksi, kuten kuvassa 8 näkyy.



Kuva 8. Esimerkkutilanne savukoneen käytöstä virtuaalituotannossa (Phuc 2023).

Unreal Engine sisältää työkaluja, joiden avulla pystytään luomaan erilaisia fyysisen lakeja noudattavia simulaatioita, kuten törmäyksiä tai gravitaatioita. Esimerkiksi Unrealin Niagara-järjestelmällä voidaan tehdä reaaliajassa erilaisia visuaalisia tehosteita tai dynaamisia leijailevia hiukkasia. Niagara hyödyntää pelimootorissa modulaarista rakennelmaa, mikä tarkoittaa sitä, että käyttäjä voi yhdistää järjestelmässä eri moduuleita toisiinsa luodakseen monimutkaisempia ja ainutlaatuisia tehosteita (Epic games i.a. a.)

Niagaran lisäksi Unrealissa pystytään myös jäljittelemään Cloth-simulaatiotyökalun avulla realistisia kankaan liikkeitä. Kankaan simulointia varten pelimootoriin tuodaan 3D-mallinnettu geometria tekstuureineen, johon voidaan simulaatiotyökalun avulla määrittää erilaisia rajoitteita, kuten esimerkiksi sen joustavuuden

määrä ja paino, jotka vaikuttavat kankaan käyttäytymiseen pelimoottorissa. (Epic games i.a. b.)

Jos tuotannossa halutaan käyttää monimutkaisempia simulaatioita, niitä voidaan luoda esimerkiksi ohjelmilla kuten Houdini tai Embergen. Embergen on tehokas reaaliajassa toimiva simulaatio-ohjelmisto, ja sen työkalujen avulla pystytään luomaan esimerkiksi tarkkoja tuli-, savu- tai kaasusimulaatioita VDB-tekniikkaa hyödyntäen. VDB-simulaatiot perustuvat OpenVDB-tekniikkaan, joka mahdollistaa kolmiulotteisten tiheiden tietorakenteiden, kuten savun tai tulen manipuloimisen. Ohjelmistossa voidaan tekniikan avulla luoda tila, joka jaetaan pieniin soluja sisältäviin kuutioihin. Soluille pystytään erikseen määrittämään tiheysarvoja ja se kuinka paljon materiaalia ne sisältävät.

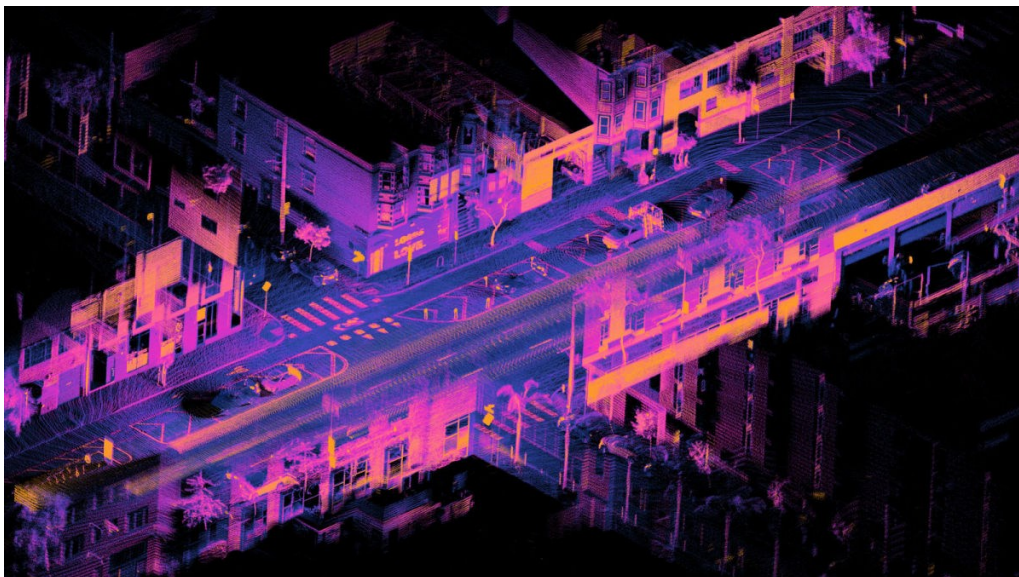
Simulaatioiden avulla voidaan luoda myös vaarallisia tilanteita, kuten erilaisia räjähdyksiä tai lumimyrskyjä, jotka voivat olla osa kohtausta. Tämän avulla voidaan kokeilla erilaisia äärimmäisiä tilanteita turvallisesti ja huomattavasti pienemmällä budjetilla. (Zwerman 2023.)

### 3.3 LiDAR-skannaus ja fotogrammetria

Virtuaalituotannossa ja ICVFX-maailmassa kaksi tehokasta tekniikkaa luoda fotorealistic 3D-malleja on LiDAR-skannaaminen (engl. Light detection and ranging) ja fotogrammetria (engl. Photogrammetry). Kyseisillä tekniikoilla pystytään tuomaan esimerkiksi reaali maailman esineitä tai ympäristöjä digitaalisesti toistettavaan muotoon, ja elokuvantekijät voivat hyödyntää näitä saavuttaakseen paremman visuaalisen laadun tuotannoissa.

LiDAR-skannaamisella tarkoitetaan etäisyystunnistusteknologiaa, jossa ympäristön replikointiin käytetään laserpulsseja eri etäisyyksien mittaamiseen ja pistepilven luomiseen (engl. Point cloud). LiDAR-laitteen anturista lähetetään nopeita laserpulsseja, jotka kimpoavat skannattavan kohteen pinnoista ja palautuvat sitten takaisin laitteen anturiin. Kuvassa 9 näkyy esimerkki LiDAR-skannauksen luomasta pistepilviverkostosta.





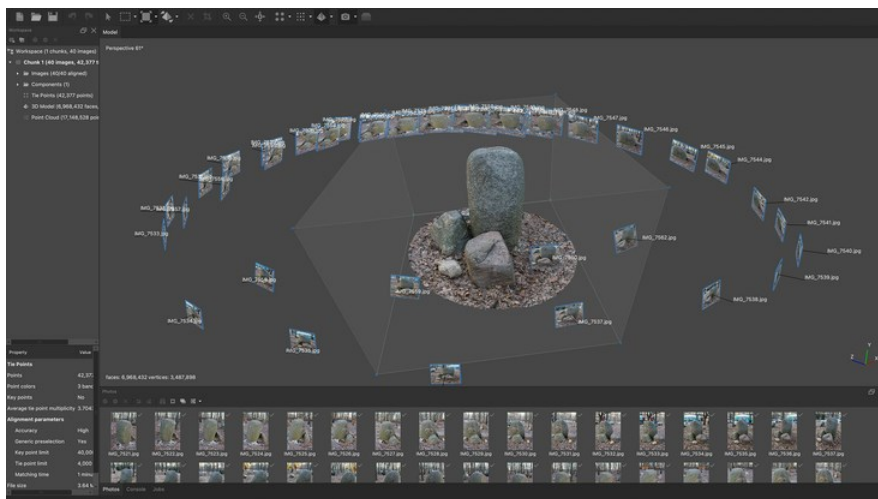
Kuva 9. Esimerkki LiDAR-skannaamisen luomasta pistepilvestä (Pix4D 2021).

Hyödyntämällä pulssien paluuaikaa ja laskemalla valon nopeuden, LiDAR pystyy määrittämään tarkasti kohteiden etäisyydet sen havaitsemalla alueella. Suurina hyötyinä LiDAR-skannaamisessa on sen toimivuus huonoissa sääolosuhteissakin, jotka yleisesti aiheuttavat ongelmia fotogrammetriaa tehdessä, ja sen laserpulssien kyky nähdä pienimmätkin yksityiskohdat skannattavissa kohteissa. (Pix4D 2021.)

Nykypäivänä LiDAR-skannaaminen on mahdollista myös Applen uudemman sukupolven laitteilla, jotka sisältävät sisäänrakennetun LiDAR-sensorin. Sensorin ja yhteensopivien ohjelmien avulla käyttäjät voivat luoda nopeasti tarkkoja 3D-malleja erilaisista kohteista. iPhone käyttää LiDAR-sensoria myös kameran syväterävyyden parantamiseen, ja sitä voidaan käyttää erilaisten AR-sovellusten (engl. Augmented reality) yhteydessä.

Fotogrammetria sen sijaan on prosessi, jossa kohteesta otetaan useasta kulkemasta valokuvia, jotka yhdistetään tietokoneohjelmalla. Ohjelmassa analysoidaan kuvien sisältämää tietoa, kuten parallaksieroja kuvien välillä, sekä niiden yhteisiä pisteitä (kuva 10). Sen lisäksi fotogrammetriaan kuuluu valokuvien kalibrointi, jolla varmistetaan kuvien oikea perspektiivi ja skaala. Saadakse

tenkin parhaan lopputuloksen fotogrammetriaa tehdessä on hyvä varmistaa riittävä valaistus ja otettava tarpeeksi suuri määrä valokuvia kohteen ympäriltä. Virtuaalituotantoa varten valokuvat syötetään tietokoneohjelmaan, jonka avulla kuvat prosessoidaan ja luodaan tarkat 3D-mallit skannatuista kohteista. Tämän jälkeen 3D-malleja voidaan käyttää virtuaalisen ympäristön rakentamisessa.



Kuva 10. Esimerkki LiDAR-skannaamisen luomasta pistepilvestä (Mubanga 2023).

LiDAR-skannaamista ja fotogrammetriaa voidaan käyttää myös tapauskohtaisesti yhdessä, jolloin voidaan saavuttaa parempi lopputulos ja saada enemmän yksityiskohtia tuotua esille. Virtuaalituotannossa mallien tarkkuus ja yksityiskohtaisuus ovat tärkeitä tekijöitä, kun halutaan luoda mahdollisimman uskottavan näköisiä ympäristöjä.

### 3.4 3D-mallinnettu ympäristö

Kun halutaan käyttää reaaliaikaista kameran seurantateknologiaa virtuaalituotannossa, yksi keino luoda fotorealistisia ympäristöjä on 3D-mallintamalla tuotetut realistiset ja interaktiiviset taustat. Riippuen tuotantojen tarpeista ympäristöt voivat sisältää valtavia kaupunkimaisemia, fantasiamaailmoja, animoituja hahmoja tai visuaalisia erikoistehosteita. Aiemmin mainitsemastani 2D-taustateknii- kasta 3D-mallinnettu ympäristö poikkeaa monilla eduillaan. Esimerkiksi tekniikan avulla pystytään muokkaamaan ympäristön yksityiskohtia tai vaihtamaan

sen valaistusta vaivattomasti reaaliajassa tuotannon aikana, minkä avulla tuotantotiimi voi kokeilla uusia ideoita ilman pitkiä odotusaikoja (Meptik n.d.).

Yleisimmin virtuaalituotannoissa 3D-mallintamalla luotujen ympäristöjen ensimmäinen vaihe sisältää ympäristön tarkan suunnittelun, mitä yksityiskohtia ympäristöön tarvitaan tai mitä ominaisuuksia se voisi sisältää. Kun suunnitelma on valmis, 3D-mallinnusta voidaan nopeuttaa hyödyntämällä Kitbashing-menetelmää tarkoittaen useiden eri 3D-mallien yhdistämistä ja sovittamista toisiinsa 3D-mallinnusohjelmissa, kuten Blender, Maya tai Cinema 4D. Tekniikan avulla pystytään luomaan nopeasti uusia 3D-malleja ilman tarvetta mallintaa ja teksturoida kaikkea itse alusta.

3D-ympäristöjä tehdessä on tärkeää ottaa huomioon sen valaisu ja toteutustapa yhdistettynä fyysisen lavastuksen valaisuun mahdollisimman uskottavan lopputuloksen saamiseksi (Dimension Studio 2022). Kuvassa 11 on esimerkki MMC Studion luomasta virtuaalisesta ympäristöstä ja siitä miten hyvä valaistus vaikuttaa lopulliseen kuvaan.



Kuva 11. Kohtaus MMC Studion kuvaamasta virtuaalituotannon esittelyvideosta (Lavalabs 2020).

Usein monimutkaiset ja yksityiskohtaiset 3D-ympäristöt ovat kuitenkin aikaa vieviä ja kalliita tuottaa, joten tuotantoja suunnitellessa on myös hyvä miettiä niiden

tarpeiden määrää ja mahdollisuutta käyttää myös perinteisiä kuvausmenetelmiä. Vaikka 3D-mallinnus vie enemmän aikaa, sen tuomat rajattomat mahdollisuudet luoda virtuaalisia maailmoja ja niiden reaaliaikaiset muutokset ovat olennainen osa virtuaalituotantoa. Projektiosuudessani hyödynsin täysin 3D-mallinnusta tekniikkana, josta kerron tulevassa luvussa laajemmin.

## **4 Virtuaalisen ympäristön luonti ja toteutuksen reflektointi**

Projektiosuutena kerron virtuaalisesta ympäristöstä, jonka toteutimme Fireframe Studiolla työkaverini kanssa LED-volyymille käyttäen Unreal Engineä, 3D-mallinnusohjelmia sekä teksturointiohjelmia. Projektin referenssiksi valikoitui Japannissa sijaitseva tunnettu Arashiyama-niminen bambumetsä. Tavoitteenamme oli luoda mahdollisimman realistinen ja toimiva virtuaalinen ympäristö kyseisestä metsästä omaperäisellä tyyllillä ja halusimme saada ympäristöön joitakin dynaamisia liikkeitä. Projektissa itse pyrin hyödyntämään jo oppimiani taitoja Unreal Enginessä ja haastamaan itseni käyttämään uusia keinoja esimerkiksi tekstuurien ja 3D-mallien luomisvaiheessa. Alustavana suunnitelmana meillä oli siis lähteä mallintamaan kaikki tarvittavat 3D-mallit itse alusta ja teksturoida ne käyttäen Adoben Substance Painter-ohjelmaa.

Projekti oli kaiken kaikkiaan erittäin laaja, ja pystyin jatkuvasti kokeilemaan uusia tekniikoita virtuaalisen ympäristön toimivuuden kannalta. Tätä projektia käydessäni läpi oletan kuitenkin lukijan jo tietävän perusasioita 3D-mallintamisesta ja ainakin alustavat käsitteet virtuaaliympäristöjen luomisesta Unreal Enginessä. Tulevien alalukujen myötä pyrin kertomaan tarkemmin myös, minkälaisia työvaiheita virtuaaliympäristön rakentamisessa käytin, mitä haasteita tai ongelmia ne toivat ja millä tavalla pystyin ne ratkomaan.

#### 4.1 3D-mallien hahmottaminen ja ympäristön suunnittelu

Aivan alussa lähdimme työkaverini kanssa ajattelemaan, minkälainen ympäristö olisi sellainen, josta saisimme helposti toteutettavan, mutta visuaalisesti näyttävän. Erinomaiseksi referenssiksi valitsimmekin projektille Japanissa sijaitsevan Arashiyama-nimisen bambumetsän. Arashiyama on hyvin tunnettu sen historiasta, kulttuurista ja tuuheasta bambumetsästä, jonka läpi kulkee kivinen polku. Projektissa oli siis ehdottoman tärkeää luoda aitouden tunnetta kookkaiden bambun runkojen ja läpi kulkevan polun avulla, kuten kuvasta 12 ilmenee.



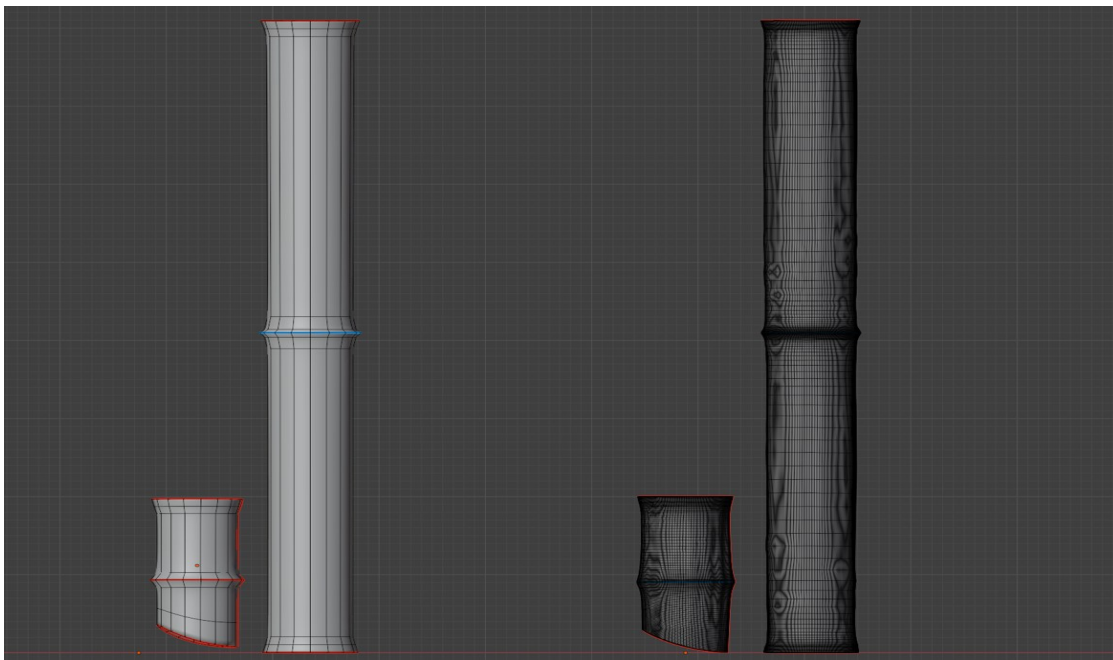
Kuva 12. Kiotossa sijaitseva Arashiyama-bambumetsä (Dhooghe 2017).

Ensimmäisenä tehtävänä yritimme kartoittaa, minkä tyyliä 3D-malleja projektiin tarvittaisiin. Yhtenä Ideana oli mallintaa bambun rungoista koostuva viidakkomaja, joka olisi kivetyt polun päädyssä ja polun varrella olisi Torii-nimisiä perinteisiä japanilaisia portteja sekä Chōchin-nimisiä paperilyhtyjä. Halusimme myös tuoda projektiin hieman dynaamisuutta puiden latvoista putoavilla lehdillä ja tuulessa liikkuvilla lipuilla, jotka simuloitaisiin Unreal Enginen kangassimulaatiotyökaluilla. Suunnitteluvaiheessa kasasimme useita esimerkkikuvia hyödyn-

täen 3D-maailmasta tuttua PureRef-ohjelmaa. PureRef toimii eräänlaisena kuvakokoelmana, jonne käyttäjä voi kerätä mitä tahansa kuvia ja järjestellä niitä ajatuskarttamaiseen tyyliin. Kuvien lisäksi ohjelmaan voidaan lisätä tekstikenttiä mikä tekee siitä erittäin käytännöllisen lisätyökalun suunnitteluvaiheessa.

## 4.2 3D-mallinnus ja teksturointi

3D-mallintamisessa lähdin työstämään ensimmäisenä viidakkomajaa Blender-nimisellä 3D-mallinnusohjelmalla yksittäisestä bambunrungosta lähtien. Itselleni Blender oli tässä vaiheessa vielä hieman uudempi tuttavuus, mutta aikaisemman 3D-taustan perusteella tämä ei tuottanut suurempia ongelmia. Tutkin erilaisia keinoja pystyä mallintamaan samankaltaisia rungon palasia, joista voisi kuitenkin tehdä erilaisia variaatioita helposti. Blenderin sisältämällä Array-toiminnolla pystyin jakamaan geometrian kahteen osaan, päätypalaan ja keskiosaan, mahdollistaen hieman toisistaan poikkeavien runkojen monistamisen peräkkäin. Järkevä ja optimoitu tapa oli lähteä mallintamaan ensin palat käyttäen pienempää polygonimäärää (engl. Low poly), jolloin geometrian kanssa työskentely oli helpompaa ja pystyin keskittymään rungon muotoon paremmin. Tarkempia yksityiskohtia varten tein rungon palasista myös korkeapolygoniset (engl. High poly) versiot, joihin muokkasin Blenderin Sculpt-työkalulla uria ja halkeamia luodakseni realistisemmän näköisen lopputuloksen. Kuvassa 13 on havainnollistava esimerkki, kuinka suuremmalla polygonimäärällä saadaan enemmän yksityiskohtia bambunrunkojen geometriassa.

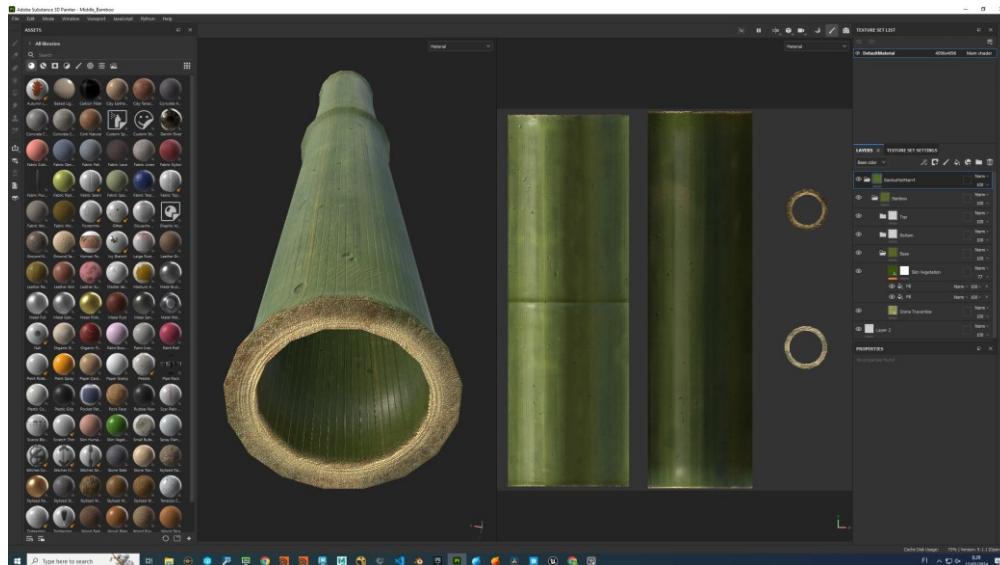


Kuva 13. Kuvassa vasemmalla oleva geometria sisältää pienemmän polygonimäärän ja oikealla oleva korkeamman polygonimäärän.

Yksityiskohtien lisäämisen jälkeen merkitsin geometriaan ne saumat, joiden mukaan UV-kartat (engl. UV-Map) lasketaan. UV-karttojen avulla määritellään, miten tekstuurikoordinaatit U ja V vastaavat geometrian pisteitä, jotka määrittävät, miten tekstuuri mukautuu 3D-mallin pintaan. UV-karttojen saumoja tehdessä yksi hyvä ajattelutapa on miettiä, millä tavalla kolmiulotteinen geometria voidaan levittää täysin tasaiselle pinnalle (kuva 14). UV-kartoituksen tekeminen on yksi oleellisista osista mallintamisprosessissa, ja suunnittelijat joutuvatkin ajattelemaan, millä tavoin tekstuurit kietoutuvat 3D-mallien ympärille.

Seuraava vaihe oli viedä geometria Substance painter-ohjelmaan teksturoitavaksi. Substance Painter on Adoben omistama 3D-mallien tekstuureihin erikoistunut ohjelma. Sen sisältämällä työkaluilla pystytään helposti tekemään realistisia tekstuureita maalaamalla 3D-mallien pinnoille. Sovellus sisältää laajan valikoiman esiasetuksia erilaisille tekstuureille, ja käyttäjät pystyvät myös luomaan omia tekstuurimallejaan käyttötarpeiden mukaan. Bambunrunkoja teksturoidesani käytiin oikeiden bambunrunkojen kuvia referensseinä ja yritin luoda samantyyppistä ilmettä yhdistellen useampia tekstuuripohjia ja maalaamalla niiden päälle

uusia yksityiskohtia. Tekniikan avulla pystyin määrittämään rungoille vihreän pohjavärin ja maalaamaan tarvittavat yksityiskohdat niiden päälle.



Kuva 14. Havainnollistava kuva bambunrunkojen tekstuureista Substancessa.

Substancen avulla geometrialle beikataan (engl. Baking) verkkomallit (engl. Mesh maps), joiden avulla lasketaan erilaisia tekstuuritietoja mallin pinnalle. Tekstuuritiedot voivat sisältää esimerkiksi väri-, normaali- tai karkeuskarttoja (kuva 15).



Kuva 15. Havainnollistava kuva beikkaamisesta Substancessa (Adobe 2023).



Beikkaamisen avulla Substance pystyy projisoimaan kartat geometrian pinnalle muuttamatta topologiaa itsessään. Tämän avulla karttoja hyödyntäen voidaan luoda yksityiskohtiin enemmän syvyyttä ja saavuttaa realistisempi lopputulos. Kuvassa 16,17 ja 18 esittelen bambunrungoista kasaamani viidakkomajan ja sen, kuinka yksityiskohtaisia tekstuureja se sisältää, sekä myös kaksi lamppua, jotka mallinsin ympäristöä varten samaa tekniikkaa hyödyntäen.



Kuva 16. Bambunrungoista kasaamani viidakkomaja.



Kuva 17. Yksityiskohtaiset tekstuurit mahdollistavat geometrian tarkastelun lähietäisyydeltäkin.



Kuva 18. Vasemmalla kuvassa mallintamani Chōchin-paperilyhty ja oikealla aasialaistyylinen lamppu.

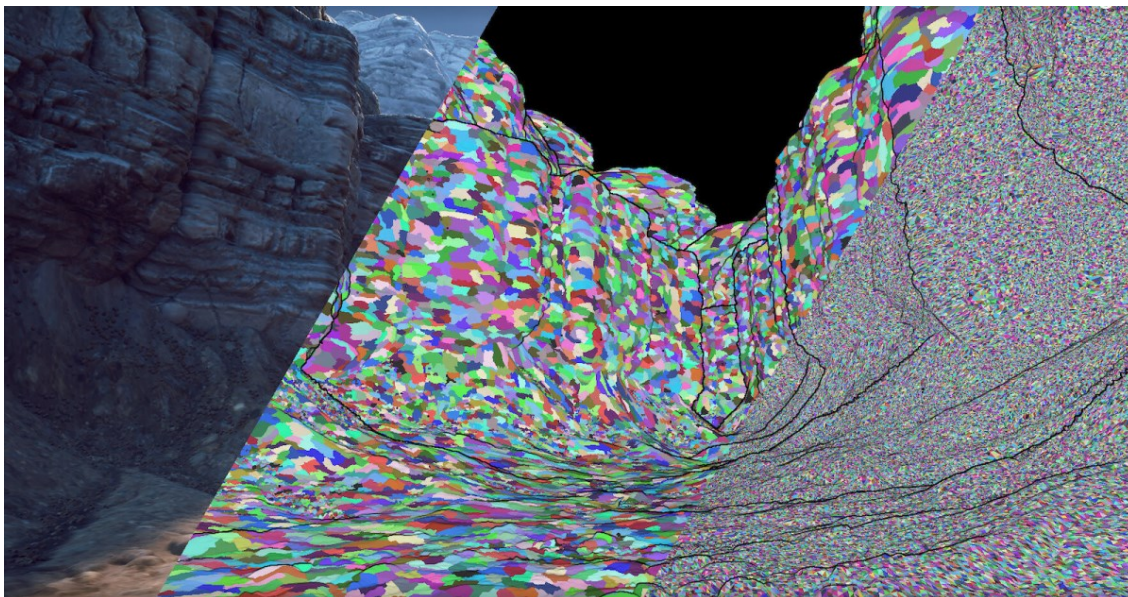
### 4.3 Ympäristön luominen ja 3D-mallien tuonti pelimoottoriin

3D-mallintamisen ja teksturoinnin jälkeen lähdimme kasaamaan projektia käyttäen Unreal Engine 5.3-versiota, joka mahdollistaa VDB-simulaatioiden tuonnin pelimoottoriin. Loimme pelimoottorissa tyhjän kentän, jonne aloimme asettelemaan alustavasti 3D-malleja paikoilleen kuvan 19 tapaisesti.



Kuva 19. Alkuvaiheet ympäristön kasaamisesta Unreal engine-pelimoottorissa.

3D-malleja tuodessa pelimoottoriin käytimme Unrealin enginen Nanite-tekniologiaa, joka poistaa perinteisen LOD (Level of detail) -tekniikan tarpeen. Nanite pystyy käsittelemään korkeapolygonista geometriaa vaikuttamatta pelimoottorin suorituskykyyn. Nanite jakaa geometrian kolmioryhmiksi eli klustereiksi (engl. Cluster) ja suoratoistaa ne kameran näkökulman perusteella dynaamisesti vähentämällä yksityiskohtia kaukaisemmille kohteille (kuva 20).



Kuva 20. Visuaalinen esimerkki, miltä Nanite-klusterit näyttävät pelimoottorissa (Sergeev 2021).

Naniten avulla pystyimme myös helposti työstämään projektiamme, vaikka geometriat, jotka mallinsimme, sisälsivätkin paljon polygoneja. 3D-malleja tuodessa projektiin on myös hyvä tarkistaa oikeat mittasuhteet ja varmistaa geometriasta niiden käyttämät UV-kartat, jotta materiaaleja tehdessä ei niissä ilmentyisi ongelmia.

Ympäristöä tehdessämme pyrimme pitämään virtuaalikameran yhdessä sijainnissa paikallaan, jotta 3D-mallien asettelun aikana ympäristön etuala pysyisi mahdollisimman avoimena, kun fyysistä kameraa liikutellaan LED-volyymillä. Hyvän suorituskyvyn kannalta on myös hyvä tapa ajatella, mitä kaikkea kamera tulee lopulta näkemään, jotta välttyttäisiin siltä, ettei rakenneta liian täynnä olevaa ympäristöä, josta vain pientä osaa tultaisiin käyttämään. Bambumetsää varten käytimme Unreal Enginen Foliage-toimintoa, jonka avulla pelimoottorissa pystytään maalaamaan geometrian päälle ne alueet, joihin halutaan valittujen 3D-mallien ilmestyvän. Toiminto helpottaa esimerkiksi suurten metsäalueiden luomista nopeammin ilman tarvetta asetella jokaista puunrunkoa käsin paikoilleen.

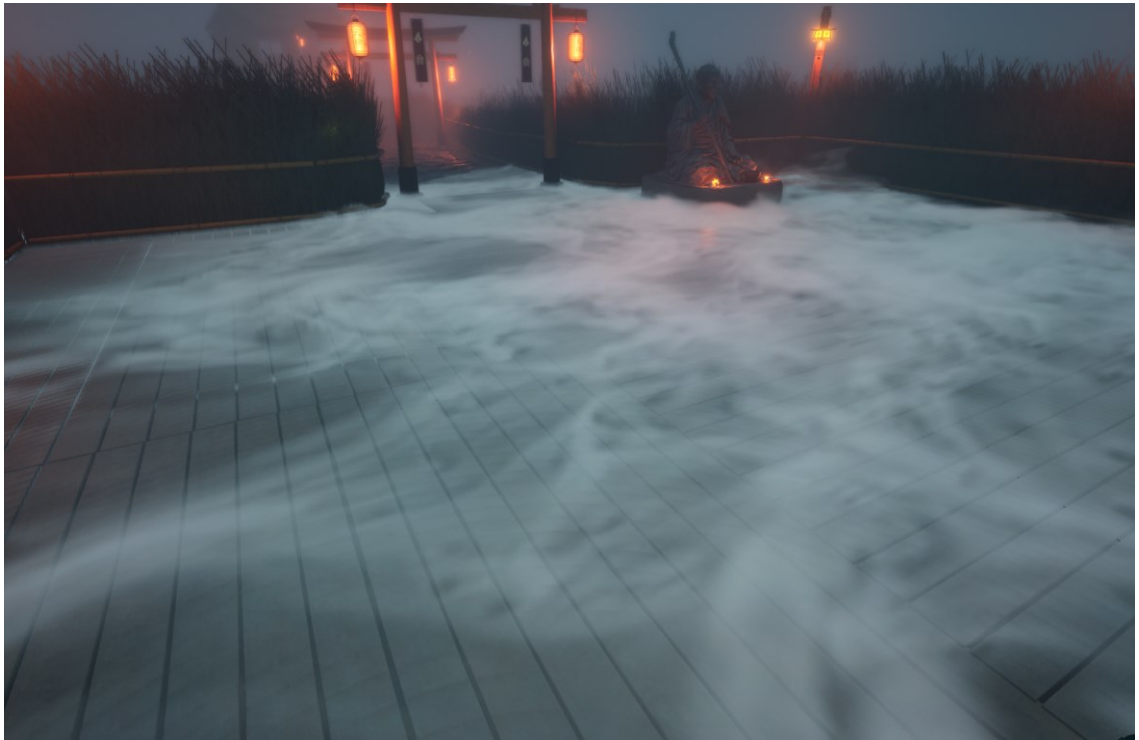
3D-mallien lisäksi oli tarkoitus luoda ympäristöön myös dynaamista liikettä tuulessa huojuvilla lipuilla sekä lyhdyillä. Lippuja varten pystyin hyödyntämään Unrealin kangassimulaatiota, jolla voidaan luoda geometrian jokaiselle pisteelle (engl.Vertex) simulaatio, joka reagoi fysiikan lakien tavoin pelimoottorin sisäisiin voimiin, kuten kiihtyvyyteen, törmäyksiin, painovoimaan. Simulaatiotyökalun avulla pystyin tarkasti määrittelemään lipun geometriasta ne alueet, joiden halusin reagoivan tuulen nopeuden mukaisesti. Kuvassa 21 näkyy pysäytetty kuva, miten lippu reagoi tuulen nopeuteen pelimoottorissa.



Kuva 21. Havainnollistava kuva Unreal engineen kangassimulaatiosta.

Kangassimulaation lisäksi tutkin muita keinoja luoda dynaamisuutta projektiin. Yhtenä ideana keksin rakentaa Unrealin Niagara-partikkelisimulaatiolla myös bambujen latvoista tippuvia lehtiä, jotka reagoisivat lipun tavoin tuulen nopeuteen. Niagaran avulla pelimoottorissa pystytään luomaan erilaisia partikkelilähtettä, joiden avulla voidaan simuloida esimerkiksi lumisadetta. Mallinsin simulaatiota varten yhden bambunlehden, jota pystyin Niagaran avulla monistamaan riippuen siitä, kuinka korkeaksi tuulen nopeus kasvaa. Niagaran luomat partikkelit käyttäytyvät myös fysiikan lakien mukaisesti, joten lopputulos oli hyvinkin realistinen.

Koska projektimme oli luotu Unreal engine 5.3-versiolla, halusin luoda projektiin myös jonkinlaisen VDB-simulaation hyödyntäen Embergen ohjelmistoa. Haasteena sumun tekemisessä oli luoda mahdollisimman realistinen simulaatio ja saada se reagoimaan törmätessään ympäristössä olevaan geometriaan. Tähän ratkaisuna päädyin tuomaan Embergeniin ympäristöstämme etualan lattian ja patsaan geometrian, jotka pystyin asettamaan simulaatiossa törmäyksen kohteiksi. Kuvassa 22 näkyy Embergenistä tuotu simulaatio virtuaaliympäristössäni.

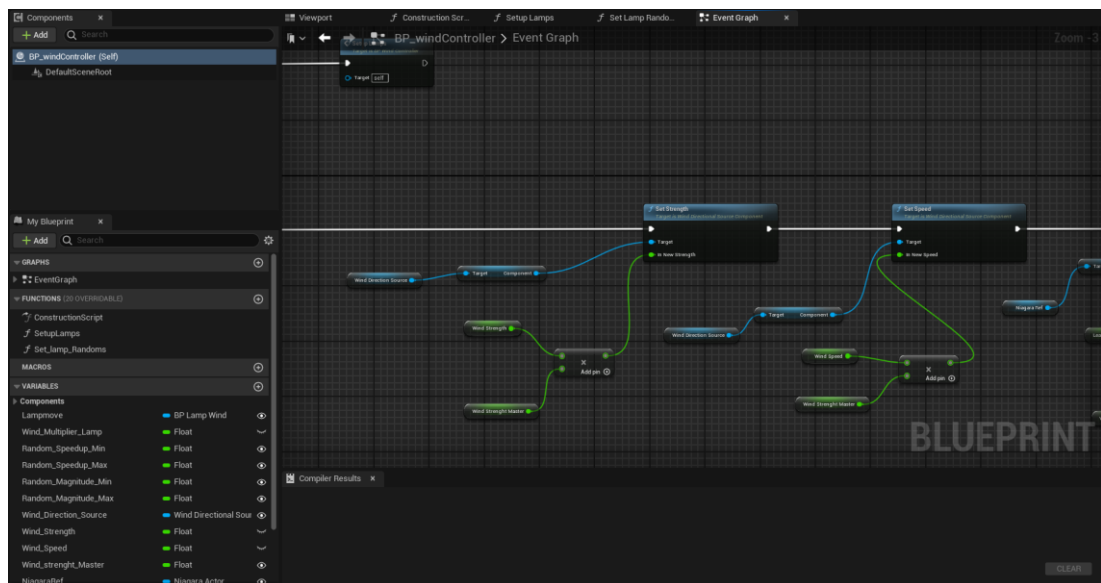


Kuva 22. Embergenissä luotu VDB-simulaatio pelimoottorissa.

Unreal 5.3 -version avulla VDB-simulaatioita voidaan toistaa reaaliajassa ja muuttaa savun tiheyttä tai värejä sen materiaalista halutun ilmeen saavuttamiseksi. Menetelmällä pystyin luomaan realistisen näköisen maata pitkin kulkevan sumun, joka reagoi myös pelimoottorissa tuulennopeuteen.

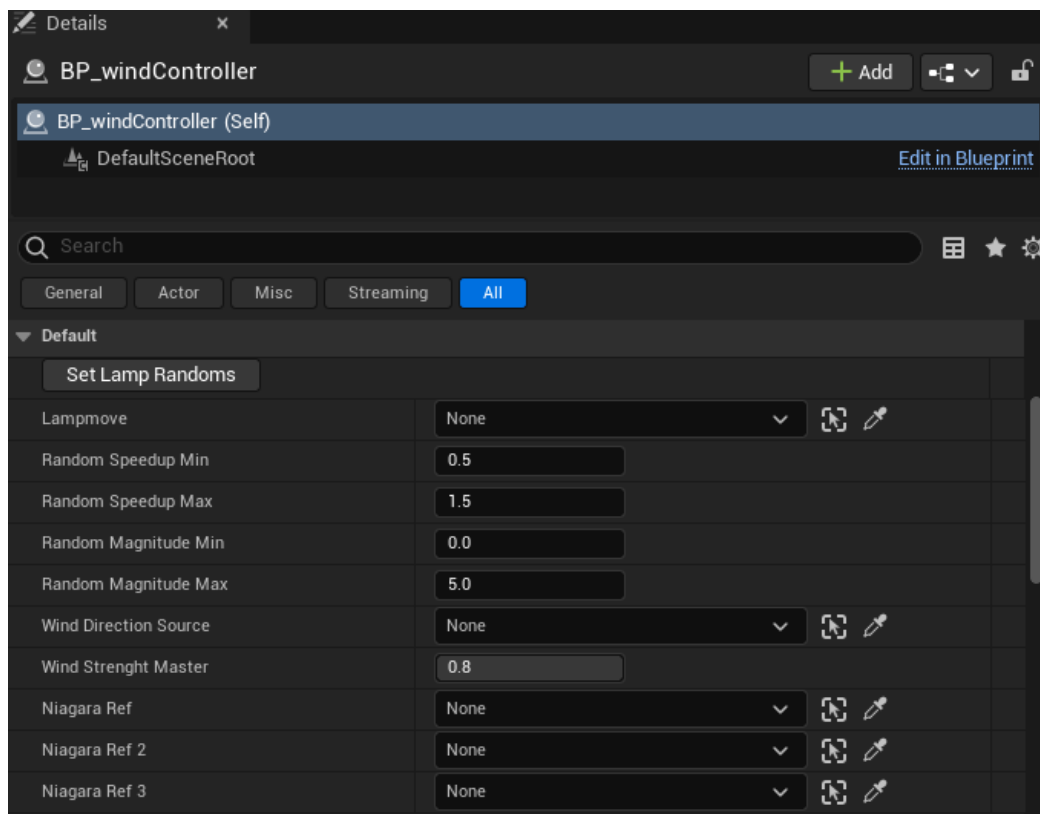
## 4.4 Blueprintit ja viimeistely

Kun ympäristössämme alkoi olla 3D-mallit ja simulaatiot paikallaan, rakensin projektiin Blueprint-ohjaimen, jonka avulla pystyimme määrittämään tuulen nopeuden ja ohjaamaan simulaatioita yhden käyttöliittymän avulla. Halusin saada Blueprinttiin yhdistettyä myös paperilyhtyjen heilumisen tuulen mukana, mikä tuotti aluksi haasteita. Tutkin keinoa luoda realistisen näköisen keinumisliikkeen lyhyille ja lopulta ratkaisuksi löytyi Unrealin sisältämä fysiikkakomponentti, joka mahdollistaa vuorovaikutuksia objektien välillä. Komponentteja käytetään peleissä esimerkiksi ovien saranoissa, liukuvissa ovissa tai köysissä ja niille voidaan asettaa erilaisia rajoituksia, miten objektit voivat liikkua suhteessa toisiinsa. Pystyin siis luomaan käytännössä näkymättömän köyden lamppujen kiinnikkeisiin, joista ne roikkuivat Torii porteissa olevissa koukuissa. Blueprintin avulla pystyin asettamaan köydelle jäykkyyden ja rajoituksia mihin suuntaan köysi voi antaa periksi ja kuinka paljon. Ohjaimessa määritin lamppujen heilumiselle minimi- ja maksimi määrän paljonko ne saisi heilua suhteessa toisiinsa, kun Unrealin tuulisimulaation nopeutta muutettaisiin. Samalla pystyin kasvattamaan tippuvien lehtipartikkelien syntymisen määrää, kun tuulennopeus kasvaa. Kuvassa 23 näkyy visuaalinen esimerkki ohjaimen rakenteesta Blueprint-järjestelmässä.



Kuva 23. Rakentamani Blueprint-ohjain pelimoottorissa.

Asetin tuulennopeudelle ohjaimessa parametreilla master-arvot, jossa minimiarvo on 0 ja maksimiarvo 0.8, joiden välillä järjestelmä pystyy laskemaan siihen kytkettyjen yksittäisten simulaatioiden nopeudet suhteessa toisiinsa. Kuvassa 24 näkyy käyttöliittymä, johon loin yhden liikusäätimen, jolla päätettäisiin, tuuleeko ympäristössä vai ei. Kytkin ohjaimen myös Embergenissä luomani VDB-simulaation vaihtamaan ruudunpäivitysnopeuden (engl. Frame rate) 24 kuvasta sekunnissa 50 kuvaan sekunnissa, kun tuulen nopeutta muutetaan minimi- ja maksimiarvojen välillä.



Kuva 24. Käyttöliittymänäkymä Ohjaimesta Unrealissa.

Kun Blueprint-ohjain oli valmis, keskityimme ympäristön lopulliseen ulkonäköön. Halusimme luoda ympäristöön synkän sumumaisen tunnelman ja helpoin tapa luoda kaiken kattavaa sumua oli käyttää Unrealin sisältämää Height Fog -työkalua. Sen parametrien avulla pystyimme asettamaan sopivan tiheän sumun metsän päälle. Valaistuksessa käytimme lyhtyjen lisäksi Polyhaven-sivustolta ladat-



tua HDRI-kuvaa (engl. High dynamic range imaging), jolla voidaan pelimoottorissa heijastaa ympäristön ylle 360-asteinen kuva, joka heijastaa sen sisältämää valodataa jokaisesta suunnasta luodakseen realistisen valaistuksen ja heijastukset. Kuvissa 25 ja 26 näkyy lopullinen ympäristömme kokonaisuudessaan.



Kuva 25. Kuvakaappaus ympäristömme lopullisesti ilmeestä pelimoottorissa.



Kuva 26. Minä kuvaamassa ympäristöämme LED-volyymillä Fireframe studiolla.

## 5 Yhteenveto

Opinnäytetyössä tavoitteena oli luoda käsitys keinoista, joilla virtuaalituotannossa pystytään luomaan virtuaalisia ympäristöjä ja avata tarkemmin 3D-mallinnettujen ympäristöjen mahdollisuuksia hyödyntäen projektiosuudessa luomaani ympäristöä. Vaikka virtuaalituotannossa ympäristöjä voidaan luoda usealla tavalla, keinot, joita käsittelin ovat yksiä yleisimmistä ja käytetyimmistä alalla.

Haasteina projektissa oli selvittää millä tavoin käsittelemiäni tapoja voidaan hyödyntää tuotannon tarpeisiin nähden ja miten ne poikkeavat toisistaan. Yhtenä Isoimpana haasteena oli myös sopivien dokumentaatioiden löytäminen nimenomaan eri keinoihin liittyen ja niiden kattavan kokonaisuuden tuominen esille.

Erilaisilla keinoilla luotujen virtuaalisten ympäristöjen hyödyntäminen tuotannoissa selkeni paljon avarammin opinnäytetyötä tehdessäni ja monipuolisten ohjelmistojen tarjoamat mahdollisuudet toivat itselleni valtavasti uusia työkaluja, jatka ajatellen. Kaiken kaikkiaan opin paljon uutta informaatiota liittyen virtuaalituotantoon, vaikka työskentelenkin sen parissa ja koin aiheen erittäin mielenkiintoiseksi.

Myös toiminnallinen osuus oli valttavan opettavainen, ja koin hyväksi haasteeksi päästä hyödyntämään opittujani taitojani ja kokeilemaan joitakin täysin uusia menetelmiä. Esimerkiksi simulaatioiden tekeminen ja yhdistäminen Blueprint-ohjaimen oli todella mielenkiintoista. Koen saavuttaneeni tällä opinnäytetyöllä tavoitteeni oppimisen ja aiheesta kirjoittamisen kannalta.

## Lähteet

Coldewey, Devin 2020. TechCrunch. How The Mandalorian and ILM invisibly reinvented film and TV production. Verkkosivu. <https://techcrunch.com/2020/02/20/how-the-mandalorian-and-ilm-invisibly-reinvented-film-and-tv-production/> (Viitattu 12.3.2024)

Dimension Studio 2022. Virtual Production Innovation Series Ep 1 – Lighting. Verkkovideo. 28.03.2024. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=J9IK-UoxSd8> (Viitattu 22.3.2024)

Disguise. Exploring 25D workflows. Verkkosivu. <https://www.disguise.one/en/insights/blog/exploring-25d-workflows> (Viitattu 24.3.2024)

Epic games i.a. a. Niagara Overview. Verkkosivu. <https://docs.unrealengine.com/4.26/en-US/RenderingAndGraphics/Niagara/Overview/> (viitattu 4.9.2024)

Epic games i.a. b. Clothing Tool Properties Reference. Verkkosivu. <https://docs.unrealengine.com/4.26/en-US/InteractiveExperiences/Physics/Cloth/Reference/> (viitattu 4.9.2024)

Jensen, K.Thor 2023. 25 Years Later: The History of Unreal and an Epic Dynasty. Verkkosivu. <https://www.pcmag.com/news/25-years-later-the-history-of-unreal-and-an-epic-dynasty> (Viitattu 5.3.2024)

Meptik. Crafting Cinematic Magic: Unraveling the Depths of Virtual Production Content. Verkkosivu. <https://www.meptik.com/lab/crafting-cinematic-magic-unraveling-the-depths-of-virtual-production-content/> (Viitattu 17.3.2024)

Oseman, Neil 2022. The history of virtual production. Verkkosivu. <https://neiloseman.com/the-history-of-virtual-production/> (Viitattu 29.3.2024)

Perforce 2023. In-Camera VFX. Verkkosivu. <https://www.perforce.com/blog/vcs/in-camera-VFX> (Viitattu 16.3.2024)

Pix4D 2021. Lidar-photogrammetry. LiDAR: what it is, and how it is useful for photogrammetry. Verkkosivu. <https://www.pix4d.com/blog/lidar-photogrammetry/> (viitattu 28.3.2024)

Zwerman, Susan: The VES Handbook of Virtual Production. Taylor & Francis 2023. (Viitattu 30.3.2024)

## Kuvalähteet

Kuva 1. Bromptontech 2021. VIRTUAL PRODUCTION STUDIO-XR, POWERED BY BROMPTON. Verkkosivu. <https://www.bromptontech.com/news/prg-and-mado-xr-create-virtual-production-studio-xr-powered-by-brompton-technology/> (viitattu 10.3.2024)

Kuva 2. Coldewey, Devin 2020. TechCrunch. How The Mandalorian and ILM invisibly reinvented film and TV production. Verkkosivu. <https://techcrunch.com/2020/02/20/how-the-mandalorian-and-ilm-invisibly-reinvented-film-and-tv-production/> (viitattu 12.3.2024)

Kuva 4. Lux Machina 2020. THE NEXT GENERATION OF EXTENDED REALITY SOUNDS STAGES. Verkkosivu. <https://www.luxmc.com/press-a/the-next-generation-of-extended-reality-sounds-stages> (viitattu 16.3.2024)

Kuva 5. Paur, Joey 2022. Geektyrant. Fun AVATAR Side-By-Side Video Features Shooting in Motion Caption Alongside The Final Product. Verkkosivu. <https://geektyrant.com/news/fun-avatar-side-by-side-video-features-shooting-in-motion-caption-alongside-the-final-product> (viitattu 29.3.2024)

Kuva 6. Oseman, Neil 2022. The history of virtual production. Verkkosivu. <https://neiloseman.com/the-history-of-virtual-production/oblivion/> (viitattu 4.9.2024)

Kuva 7. Virtualproductionstudios i.a. Heartstopper-led-volume. Verkkosivu. <https://www.virtualproductionstudios.com/portfolio/heartstopper-led-volume> (viitattu 29.3.2024)

Kuva 8. Phuc, Dang 2023. Animost. How Virtual Production Revolutionizes the Entertainment Industry. Verkkosivu. <https://animost.com/ideas-inspirations/virtual-production/> (viitattu 30.3.2024)

Kuva 9. Pix4D 2021. Lidar-photogrammetry. LiDAR: what it is, and how it is useful for photogrammetry. Verkkosivu. <https://www.pix4d.com/blog/lidar-photogrammetry/> (viitattu 28.3.2024)

Kuva 10. Mubanga Kanyanta 2023. Artec3D. Best photogrammetry software. Verkkosivu. <https://www.artec3d.com/learning-center/best-photogrammetry-software> (viitattu 28.3.2024)

Kuva 11. Lavalabs 2020. VIRTUAL PRODUCTION. Verkkosivu. <https://www.lavalabs.de/home/virtualproduction> (viitattu 17.3.2024)

Kuva 12. Dhooghe, Claire 2017. Medium. Is It Worth It?: Arashiyama Bamboo Forest. Verkkosivu. <https://medium.com/tripping-with-ben/is-it-worth-it-arashiyama-bamboo-forest-a109def8c4a9> (viitattu 27.3.2024)

Kuva 15. Adobe 2023. Baking. Verkkosivu. <https://helpx.adobe.com/substance-3d-painter/baking.html> (viitattu 9.4.2024)

Kuva 20. Sergeev, Arti 2021. 80lv. Discussing the Possibilities and Drawbacks of Unreal Engine 5's Nanite. Verkkosivu. <https://80.lv/articles/discussing-the-possibilities-and-drawbacks-of-unreal-engine-5-s-nanite/> (viitattu 10.4.2024)

## **Liitteet**

### **Liite 1. Virtuaalisen ympäristön esittelyvideo**

Leppänen 2024. Introduction of virtual environment. Verkkovideo. 28.03.2024.

Youtube. <https://youtu.be/OwKImWqG3W8>