



Lauri Heikkinen

Virtuaalituotannon yksinkertaistaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tieto- ja viestintäteknikka

Insinöörityö

13.5.2025

Tiivistelmä

Tekijä: Lauri Heikkinen
Otsikko: Virtuaalituotannon yksinkertaistaminen
Sivumäärä: 47 sivua
Aika: 13.5.2025

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Tieto- ja viestintätekniikka
Ammatillinen pääaine: Mediatekniikka
Ohjaajat: Lehtori Toni Spännäri

Insinööriyössä luotiin asiakkaalle tuotantolinjat virtuaalituotantojen toteuttamiselle. Asiakkaan olemassa olevaa virtuaalitudiota kehitettiin helppokäyttöisemmäksi ja tehokkaammaksi, jotta virtuaalituotantoa voitaisiin hyödyntää useammassa videotutannoissa. Työn tavoitteena oli tehdä virtuaalituotannosta niin yksinkertaista, että virtuaalituotantoon perehtymätönkin henkilö voisi toteuttaa yksinkertaisia tuotantoja. Samalla haluttiin kuitenkin luoda valmiudet myös monimutkaisempien virtuaalituotantojen toteuttamiselle tulevaisuudessa.

Insinööriyössä tutustuttiin virtuaalituotannon teknologioihin, käyttötarkoituksiin, ja mitä etuja virtuaalituotanto tuo perinteisiin menetelmiin verrattuna. Tehtiin myös tilannekatsaus, jossa tutkittiin ja vertailtiin markkinoilla olevia virtuaalituotantoratkaisuja. Lisäksi pohdittiin nykyisten virtuaalituotantomenetelmien haasteita, ja miten tilanne saattaa olla muuttumassa tulevaisuudessa.

Asiakkaalle päädyttiin kehittämään kaksi virtuaalituotannon tuotantolinjaa. Ensimmäinen pyrkii tekemään virtuaalituotannosta mahdollisimman yksinkertaista ja vaivatonta. Toinen tuotantolinja puolestaan mahdollistaa monimutkaiset tuotannot. Virtuaalitudion käyttöä varten tehtiin sarja ohjevideoita, jotka käsittelevät ohjelmistojen ja laitteiden käytön sekä kytkennät.

Asiakkaan toiveiden mukaan hankittiin kokoelma erilaisia virtuaaliympäristöjä. Valmiiden virtuaalituotantoon sopivien virtuaaliympäristöjen löytäminen osoittautui kuitenkin hankalaksi. Hankittuja ympäristöjä jouduttiin muokkaamaan ja optimoimaan manuaalisesti, jotta niitä voitiin käyttää reaaliaikaisessa virtuaalituotantoympäristössä.

Insinööriyön lopputuloksena kehitettiin toimivat tuotantolinjat, joita asiakas voi hyödyntää virtuaalituotantojen toteuttamiseen. Virtuaalituotantoa voidaan käyttää asiakkaan eri osastojen omissa tuotannoissa tai ulkopuolisten asiakkaitten projekteissa. Virtuaalituotanto mahdollistaa vaikuttavien virtuaaliympäristöjen ja tehosteiden käyttämisen, minkä ansiosta asiakkaille voidaan tarjota ainutlaatuisia ja pitkälle räätälöityjä videotuotantoja.

Avainsanat: virtuaalituotanto, videotuotanto, pelimoottori, green screen

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Lauri Heikkinen
Title: Simplifying Virtual Production
Number of Pages: 47 pages
Date: 13 May 2025

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Information and Communications Technology
Professional Major: Media Technology
Supervisors: Toni Spännäri, Senior Lecturer

This thesis created clear production lines for a corporate client for implementing virtual productions. The client's existing virtual studio was developed to be easier and more efficient for virtual production to be used in more video productions. The study aimed to simplify virtual production so even someone not previously familiar with doing virtual production could make simple productions. However, preparations were also made to account for more complex virtual productions to be implemented in the future.

The thesis explored the technology and use cases of virtual production and what benefits it brings in comparison to traditional methods. Different virtual production solutions available on the market were examined and compared. In addition, challenges related to current virtual production methods were discussed, as well as how the situation may change in the future.

Two production lines for virtual production were created for the client. The first one aims to make virtual production as easy and effortless as possible. The second production line enables more complex productions. A series of instructional videos were made that go through the use of necessary software and devices as well as the needed connections.

A collection of virtual environments was gathered according to the client's needs. Finding virtual production-ready virtual environments turned out more challenging than expected. Acquired environments required manual modifying and optimizing to be able to be used in a real-time virtual production use case.

The result of this thesis was functional production lines that the client can utilize to perform virtual productions. Virtual production can be used in client's own productions or in productions for external customers. Virtual production enables impressive virtual environments and effects to be used which in turn allows very unique and customized video productions to be offered.

Keywords: virtual production, video production, game-engine, green screen

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Virtuaalituotanto	2
2.1	Virtuaalituotannon teknologia	2
2.2	Virtuaalituotannon käyttötarkoitukset	7
2.3	Virtuaalituotannon tuomat edut	12
2.4	Pelimoottorit virtuaalituotannossa	14
3	Virtuaalituotannon tilannekatsaus	15
3.1	Markkinoilla olevat ratkaisut	15
3.2	Reaaliaikainen renderöinti	19
3.3	Virtuaalituotantojen kehityssuunta	22
4	Asiakkaan virtuaalitudion kehittäminen	23
4.1	Ohjelmistot	23
4.2	Kameran seuranta	24
4.3	Virtuaaliympäristöt	27
4.4	Tuotantolinjojen kehittäminen	31
4.5	Virtuaalituotanto-ohjeet	37
5	Työn tulokset	40
5.1	Manuaalisten säätöjen tarve	40
5.2	Erikoisosaamisen tarve	41
6	Yhteenveto	42
	Lähteet	45

1 Johdanto

Virtuaalituotanto on kattotermi usealle erilaiselle menetelmälle, jotka kaikki hyödyntävät reaaliaikaisia videotehosteita joko visualisointiin tai lopullisen kuvan tuottamiseen pääosin elokuva- ja TV-tuotannoissa. Käytännössä virtuaalituotanto on reaaliaikainen vaihtoehto perinteisille visuaalisten tehosteiden tai animaation menetelmille (Zwerman & Okun 2024). Yleensä virtuaalituotannon tarkoituksena on sijoittaa fyysinen kohde tietokoneella renderöityyn 3D-ympäristöön. Virtuaalisen taustan luominen tapahtuu joko väriavainusteknologialla tai LED-seinän avulla. 3D-ympäristön renderöintiin käytetään nykyään usein pelimoottoreita, sillä niiden avulla on mahdollista renderöidä hyvin yksityiskohtaisia virtuaaliympäristöjä reaaliajassa.

Virtuaalituotantojen määrä on kasvanut viime vuosina nopeasti. Vuonna 2023 virtuaalituotantojen markkinoiden koon arvioitiin olevan maailmanlaajuisesti noin 2,11 miljardia Yhdysvaltain dollaria, ja markkinoiden oletetaan kasvavan noin 6,79 miljardiin dollariin vuoteen 2030 mennessä (Grand View Research 2024). Vuonna 2020 globaalin pandemian pysäytettyä käytännössä kaiken matkustamisen monet tuotannot siirtyivät käyttämään virtuaalitudiota sen sijaan, että matkustettaisiin kuvauskohteisiin ympäri maailmaa. Virtuaalituotanto toi mukanaan myös uusia etätyöskentelymahdollisuuksia. Esimerkiksi virtuaalisten lavasteiden ja ympäristöjen rakentaminen voitiin tehdä täysin etätyönä. Lisäksi nykyaikaiset pelimoottorit mahdollistavat virtuaaliympäristöjen tarkastelun virtuaalitodellisuudessa virtuaalitodellisuuslaseilla. (Kander 2021.)

Virtuaalituotantojen määrän kiihtyvä kasvu ja virtuaalituotantoteknologian nopea kehittyminen luovat kuitenkin osaltaan myös haasteita. Virtuaalituotannot vaativat erikoisosaamista perinteisen videotuotannon ulkopuolelta, esimerkiksi pelikehityksestä ja animaatiosta. Virtuaalituotanto tuo mukanaan aivan uusia rooleja ja työtehtäviä, joihin voi olla vaikea löytää osaavia henkilöitä. Jatkuvasti kehittyvä teknologia vaatii myös jatkuvaa uudelleen kouluttautumista, jotta pysyy ajan tasalla. Virtuaalituotanto on kuitenkin vielä niin tuore menetelmä,

että hyviä vakiintuneita tietolähteitä tai oppimateriaaleja on niukasti saatavilla. (Boutellier & Raptis 2023.)

Insinööriyön tarkoituksena oli kehittää Rockway Oy:n virtuaalitudiota ja luoda selkeä tuotantolinja virtuaalituotantojen toteuttamiselle. Tavoitteena oli tehdä virtuaalitudiosta mahdollisimman helppokäyttöinen, jotta virtuaalituotantoja voitaisiin toteuttaa myös ilman erikoisosaamista. Helppokäyttöisyys mahdollistaisi virtuaalitudion hyödyntämisen yhä useammassa tuotannoissa.

Asiakkaalla on studiotiloissaan käytettävissä virtuaalituotantoon tarvittavat laitteistot sekä ohjelmistot. Virtuaalitudio oli teknisiltä osiltaan pitkälti tuotantovalmis, joten asiakkaan toiveena oli, että käytettäisiin pitkälti olemassa olevia laitteita ja ohjelmistoja. Asiakkaalta puuttui kuitenkin erikoisosaaminen virtuaalituotantojen toteuttamisesta sekä selkeä tuotantolinja. Tuotantolinjan lisäksi tarkoituksena oli luoda valmiit konfiguraatiot, jotta virtuaalituotantoja voitaisiin toteuttaa nopeallakin aikataululla ja mahdollisimman vähäisellä vaivalla.

2 Virtuaalituotanto

2.1 Virtuaalituotannon teknologia

Renderöinti

Virtuaalituotannossa kuvattavan kohteen taustalla näkyvä virtuaaliympäristö voidaan toteuttaa joko käyttämällä etukäteen renderöityä videotaustaa tai renderöimällä virtuaaliympäristö reaaliajassa. Etukäteen renderöidyt videotaustat toimivat hyvin sellaisissa tilanteissa, joissa kamera on täysin paikoillaan. Perinteisesti videotaustoja on käytetty esimerkiksi ajokohtausten kuvaamiseen, joissa taustalla vilisevä videokuva saa aikaan illuusion liikkuvasta autosta, vaikka tosiasiasa kohtausta kuvataan studiossa.

Virtuaalituotannon täysi hyöty saadaan kuitenkin irti, kun virtuaalitausta renderöidään reaaliajassa esimerkiksi pelimoottorilla. Reaaliaikainen renderöinti

mahdollistaa virtuaalitaustan perspektiivin muuttumisen kameraa liikutettaessa, minkä ansiosta kameraa voidaan liikutella vapaasti kuvaushetkellä.

Reaaliaikaisuus tehostaa myös esituotantoprosessia, sillä eri kuvakulmien ja kuvauspaikkojen hahmottelu virtuaaliympäristössä on nopeaa.

Virtuaaliympäristöä voidaan myös muokata reaaliajassa, mikä mahdollistaa nopeamman iterointiprosessin perinteisiin menetelmiin verrattuna.

Reaaliaikaisen renderöinnin mahdollistaa siihen tarkoitettu renderöintikone, joka on yleensä Windows-käyttöjärjestelmällä toimiva tietokone varustettuna erittäin tehokkaalla prosessorilla ja grafiikkasuorittimella. Virtuaaliympäristöjen renderöiminen reaaliajassa vaatii paljon suoritustehoa, joten renderöintikoneen komponenttivalinnat vaikuttavat suoraan siihen, kuinka yksityiskohtaisia ja realistisia ympäristöjä voidaan renderöidä. Virtuaaliympäristön laatu on tärkeää etenkin, jos virtuaalituotantoa käytetään suorissa lähetyksissä. Silloin virtuaalitaustaa ei voida korvata jälkikäteen laadukkaammalla versiolla. Suurin kuorma virtuaaliympäristöjen renderöinnissä kohdistuu grafiikkasuorittimeen, sillä se on vastuussa 3D-objektien piirtämisestä. Prosessorin valinta vaikuttaa yleensä vähemmän renderöintitehoon, koska useimmissa tapauksissa grafiikkasuoritin on renderöinnin pullonkaulana. Vaikka vaikutus on pienempi, täytyy prosessori kuitenkin mitoittaa grafiikkasuorittimen mukaan, jotta kaikki suoritusteho saadaan hyödynnettyä.

Riippuen tuotannon budjetista ja tarpeista, renderöintikone voidaan joko hankkia valmiina tai rakentaa juuri tuotannon tarpeisiin sopivaksi.

Renderöintikoneen rakentaminen itse on myös täysin mahdollista, sillä kaikki tarvittavat komponentit ja ohjelmistot ovat yleisesti saatavilla.

Komponenttivalintoja pohtiessa kannattaa ottaa huomioon, millaiseen tuotantoon renderöintikone hankitaan. Esimerkiksi grafiikkasuorittimia vertailtaessa ammattilaiskäyttöön tarkoitetut suorittimet eivät yleensä ole raa'an suorituskyvyn kannalta juuri kuluttajaversioita tehokkaampia virtuaalituotannossa (Oakden & Manolya 2022). Ammattilaisuorittimien käyttö on perusteltua lähinnä tuotannoissa, joissa on tarve ajaa useita suuria LED-näyttöjä tai tarvitaan suuria määriä videomuistia.

Kameranseuranta

Virtuaalituotannossa kameran seurannalla tarkoitetaan menetelmää, jossa kameran sijaintia ja asentoa seurataan reaaliajassa. Kameran sijainnin ja asennon tarkka seuraaminen on tärkeää, jotta virtuaalikameran perspektiivi saadaan vastaamaan fyysistä kameraa mahdollisimman tarkasti.

Kameranseurantaan on olemassa kaksi pääasiallista menetelmää.

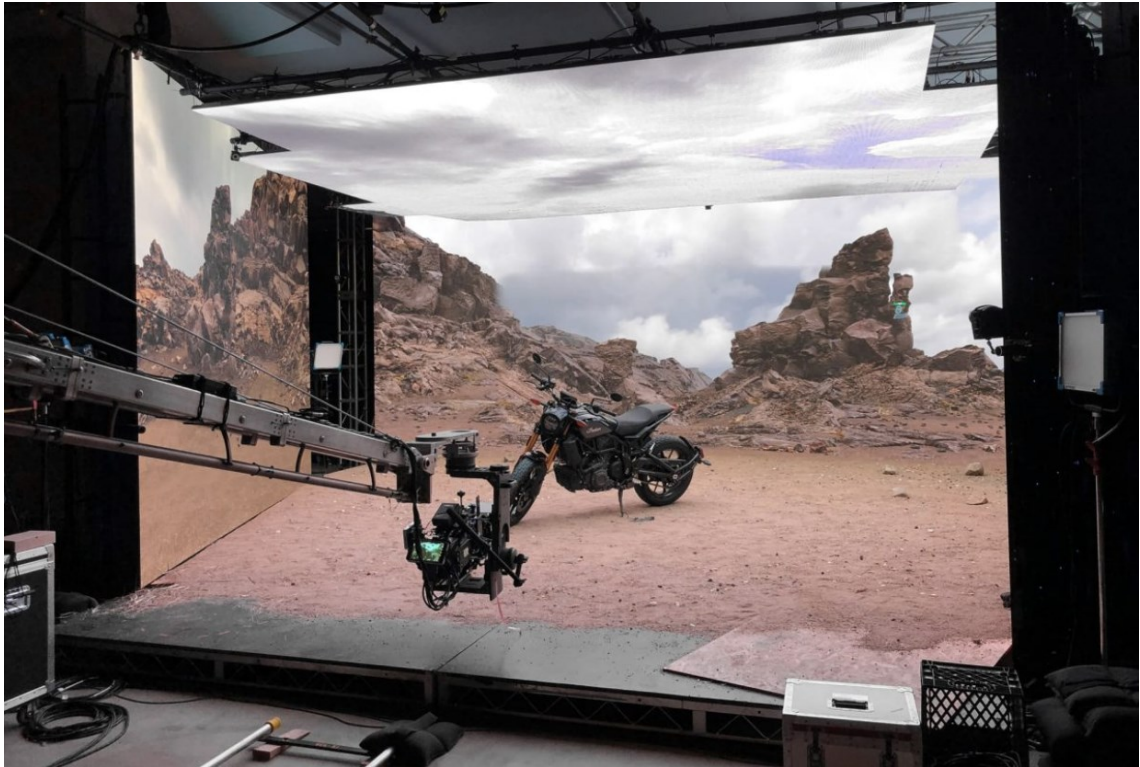
Ensimmäinen tapa on niin sanottu sisältä ulospäin -seuranta. Siinä kameraan kiinnitetään anturi, joka havainnoi yleensä studion katossa sijaitsevia seurantapisteitä ja tulkitsee niiden perusteella kameran sijainnin. Toinen tapa on seurata ulkoa sisäänpäin, jolloin studion kattoon kiinnitetään useita antureita, jotka yhdessä seuraavat kameran päälle kiinnitettyjä seurantapisteitä.

Kameran sijainnin lisäksi voidaan seurata myös objektiivin tarkennusta, aukkoa ja polttoväliä. Objektiivilta kerättyä dataa kutsutaan FIZ-dataksi. Lyhenne tulee sanoista focus, iris ja zoom. Virtuaalisen objektiivin on vastattava fyysisen objektiivin polttoväliä täydellisesti, jotta virtuaalikameran perspektiivi ei poikkea fyysisen kameran perspektiivistä. Tämä on etenkin tärkeää, mikäli käytetään zoom-objektiiveja ja polttoväliä liikutellaan kesken otoksen. Joissain ammattilaiskäyttöön tarkoitetuissa kameroissa ja objektiiveissa on erillinen liitäntä FIZ-datan ulostuloa varten. Jotkin kamerrat saattavat myös sisällyttää FIZ-datan videotiedoston metatietoina. Kaikissa kameroissa tai objektiiveissa ei kuitenkaan ole FIZ-datan ulostuloa. Silloin voidaan käyttää erillisiä objektiivin ulkokehälle kiinnitettäviä koodereita, jotka muuttavat objektiivin säätörenkaiden pyörimisliikkeet dataksi.

LED-paneelit

Virtuaalituotannossa LED-paneeleilla viitataan modulaarisiin paneeleihin, joista voidaan koota eri muotoisia ja kokoisia näyttöjä käytettäväksi virtuaalitaustan toistamiseen. Perinteisesti visuaalisia tehosteita (VFX) hyödyntävissä tuotannoissa on käytetty joko vihreää tai sinistä taustaa, joka korvataan

jälkituotannossa tietokonegrafiikalla (CGI). LED-paneeleita käytettäessä tietokoneella renderöity virtuaalitausta tallentuukin suoraan kameras kuvan. Tarvittaessa LED-paneeleista voidaan rakentaa kokonainen LED-volyymi, jossa ympäröivät seinät sekä katto ovat lähes kokonaan LED-paneelien peitossa (kuva 1).



Kuva 1. LED-paneeleista rakennettu volyyymi virtuaalituotantoa varten (The Mandalorian LED Wall: Ultimate Introduction is Here! 2023).

LED-volyymissä sekä näyttelijät että kuvausryhmä näkevät virtuaalisen ympäristön konkreettisesti ympärillään, mikä mahdollistaa luonnollisemman työskentelytavan verrattuna täysin vihreään tai siniseen studioon. LED-paneelit toimivat taustan lisäksi myös valonlähteinä, jotka reagoivat reaaliajassa virtuaalimaailmassa tapahtuviin muutoksiin.

LED-paneeleita valittaessa on otettava huomioon muun muassa käytettävien paneelien pisteväli (pixel pitch) sekä väritarkkuus, sillä värivääristymien tai moareekuvioiden korjaaminen kuvasta jälkikäteen on hankalaa. Moaree on

interferenssikuvio, joka muodostuu LED-näyttöä kuvatessa, mikäli näyttö osuu objektiivin tarkennusalueelle ja kamera on tarpeeksi lähellä näyttöä. LED-paneelien pisteväli vaikuttaa siihen, kuinka lähelle paneeleita kamera voidaan tuoda ennen, kuin moareekuviot ilmenevät. (Zwerman & Okun 2024.) Kuvan 2 vasemmalla puolella näkyy, miltä moareen aiheuttama interferenssikuvio näyttää virtuaalituotannossa.



Kuva 2. Moaree-interferenssikuvio LED-volyymissä (In-Camera VFX Overview).

Väriavaintaminen

LED-paneelien käyttö ei kuitenkaan sovellu kaikkiin virtuaalituotantoihin. LED-volyymit ovat hyvin kalliita rakentaa, ja niiden käyttöön liittyy vielä paljon rajoitteita. Siksi suuri osa virtuaalituotannoista käyttää edelleen vihreitä tai sinisiä taustoja, jolloin tarvitaan väriavaintamista. Väriavaintaminen on tekniikka, joka mahdollistaa värillisen taustan poistamisen reaaliajassa. Väriavaintamista on käytetty jo pitkään esimerkiksi uutislähetyksissä sääkarttojen ja muun grafiikan näyttämiseen henkilöiden taustalla. Virtuaalituotannossa värillisen taustan tilalle voidaan vaihtaa renderöintikoneen tuottama virtuaalitausta, minkä ansiosta muun muassa kuvaaja ja ohjaaja voivat nähdä yhdistetyn kuvan

reaaliajassa. Väriavaintaminen voidaan tehdä joko ohjelmistopohjaisesti virtuaalituotanto-ohjelmiston sisällä tai laitteistopohjaisesti erillisellä väriavainuslaitteella.

Yksi väriavainusmenetelmän suurimpia etuja varsinkin pienikokoisille tuotannoille on, että taustan koko ei rajoita mahdollisia kuvakokoja. Taustan täytyy kattaa vain suoraan kohteen takana oleva alue. Taustan ulkopuolella oleva alue voidaan jättää kokonaan pois väriavaintimen laskennasta garbage matten avulla. Garbage matte on mustavalkoinen maski, joka kertoo väriavaintimelle, mitkä osat kuvasta voidaan jättää huomioimatta väriavainusprosessissa. Garbage mattea varten fyysinen tausta mallinnetaan tietokoneella ja lisätään virtuaaliympäristöön. Renderöintikone laskee reaaliajassa virtuaalikameran perspektiivin ja mallinnetun taustan avulla garbage matte -maskin, joka lähetetään suoraan väriavaintimelle. Näin garbage matte päivittyy reaaliajassa myös kameraa liikuteltaessa.

2.2 Virtuaalituotannon käyttötarkoitukset

Virtuaalituotantoa käytetään nykyään työkaluna useissa elokuvien, sarjojen ja TV-lähetysten tuotannoissa. Tuotannosta riippuen virtuaalituotantoa voidaan hyödyntää lukuisiin eri tarkoituksiin. Perinteisesti virtuaalituotannon yleisin käyttötarkoitus on ollut esivisualisoinnissa (Pre-vis). Esivisualisoinnilla tarkoitetaan esituotannon vaihetta, jossa kohtauksia hahmotellaan visuaalisesti ennen varsinaisia kuvauksia (Kander 2019). Viime vuosina virtuaalituotantojen käyttö on laajentunut visualisoinnista myös muihin tuotannon vaiheisiin. Nykyään virtuaalituotantoa käytetään esimerkiksi liikkeenkaappauksen apuna ja yhä useammin jopa lopullisen kuvan tuottamiseen.

Havainnollistaminen

Havainnollistamisen muotoja on useita. Yleisin tarkoitus havainnollistamiselle on kokeilla erilaisia ideoita ja iteroida niitä nopealla sekä kustannustehokkaalla tavalla. Havainnollistamisella voidaan kokeilla etukäteen, mitkä ideat toimivat ja

mitkä saattavat tuottaa hankaluuksia myöhemmissä vaiheissa. Pelimoottorissa on mahdollista luoda pienellä vaivalla hyvinkin viimeistellyn oloisia virtuaalimaailmoja, mikä auttaa lopullisen otoksen havainnollistamisessa (kuva 3).



Kuva 3. Pelimoottorissa toteutettu esivisualisointikuva verrattuna lopputulokseen (What is virtual production?).

Havainnollistamista voidaan käyttää apuna läpi tuotannon eri vaiheiden, ei pelkästään esituotannossa. Esimerkkejä muista havainnollistamisen muodoista on pitchvis, techvis, stuntvis ja postvis. Esimerkiksi pitchvis tarkoittaa käsikirjoituksen esittämistä visuaalisessa muodossa sijoittajille ja studioille ennen tuotannon aloittamista. Postvis on puolestaan kuvausten jälkeen käytetty visualisoinnin muoto, jolla voidaan hahmotella erilaisia visuaalisia tehosteita kustannustehokkaasti ennen varsinaisen jälkituotannon aloittamista. (Kander 2019.)

Virtuaalituotannon ansiosta havainnollistaminen on paljon vuorovaikutteisempaa ja laadukkaampaa kuin ennen. Aikaisemmin havainnollistaminen on yleensä tehty pitkälti käsin animoimalla, ja animaatioiden renderöintiä on jouduttu odottamaan, mikä hidastaa koko tuotantoprosessia. Virtuaalituotannossa renderöinti tapahtuu reaaliajassa, minkä ansiosta muutokset nähdään välittömästi ruudulla. Reaaliaikaisuus mahdollistaa myös vuorovaikutteisen työskentelyn, jossa virtuaalista kameraa

voidaan liikutella esimerkiksi taulutietokoneen liikeantureilla. Virtuaalinen kamera mahdollistaa ohjaajalle luonnollisen tavan hahmotella otoksia ja kuvakulmia virtuaalisessa ympäristössä.

Liikkeenkaappaus

Liikkeenkaappaus on visuaalisten efektien menetelmä, jossa animaatiota ohjataan näyttelijöiden liikkeillä. Näin virtuaalihahmojen liikkeistä saadaan uskottavamman oloisia verrattuna siihen, että liikkeet animoitaisiin käsin. (Kander 2019.) Liikkeenkaappaus tehdään yleensä sille tarkoitettussa liikkeenkaappausvolyymissä, jossa volyymin reunoille asetetut kamerat kuvaavat henkilöitä joka puolelta. Henkilöillä on päällään puvut, joihin on kiinnitetty markkereita eli seurantapisteitä, minkä avulla ohjelmisto uudelleenrakentaa henkilöiden liikkeet kameroilta saadusta datasta (kuva 4).



Kuva 4. Liikkeenkaappauspuvut kasvojen liikkeiden tallentavien kameroiden kera (Kander 2019).

Henkilöiden liikkeiden seuraamisen lisäksi liikkeenkaappaukseen kuuluu monesti myös kasvon liikkeiden ja ilmeiden tallentaminen. Ilmeet tallennetaan

henkilön kasvojen edessä olevalla pienellä kameralla, joka on kiinnitetty tukivarrella henkilön päässä olevaan kypärämäiseen päähineeseen (kuva 4).

Virtuaalituotannossa liikkeenkaappauksen apuna voidaan hyödyntää esivisualisointia varten tehtyä virtuaaliympäristöä, minkä ansiosta kaappaushetkellä nähdään jo hyvin viimeistellyn näköistä kuvaa. Se antaa ohjaajalle mahdollisuuden tehdä parempia päätöksiä ja auttaa näyttelijöiden ohjaamisessa. Virtuaalista kameraa voidaan käyttää hyödyksi, mikäli halutaan nähdä, miltä liikkeet näyttäisivät kameran objektiivin läpi katsottuna.

Hybridivirtuaalituotanto

Hybridivirtuaalituotanto tai green screen -virtuaalituotanto hyödyntää kameranseurantaa ja väriavainnusta kohteen sijoittamiseksi virtuaaliympäristöön. Hybridivirtuaalituotantoa voidaan käyttää joko visualisoinnissa tai lopullisen kuvan tuottamisessa. (Kander 2019.) Vihreitä ja sinisiä taustoja on käytetty jo kymmenien vuosien ajan elokuvatuotannoissa mahdollistamaan tietokoneella renderöidyn grafiikan lisäämisen kuvaan jälkituotannossa. Ongelmana perinteisessä menetelmässä on kuitenkin, että täysin vihreällä tai sinisellä värillä päällystetyssä studiossa voi olla vaikea hahmottaa, miltä lopputulos tulisi näyttämään. Reaaliaikaisen renderöinnin ja väriavainnuksen ansiosta kohteet voidaan sijoittaa virtuaaliympäristöön reaaliajassa, jolloin ei jää pelkän arvailun varaan, miltä lopputulos tulisi näyttämään.

Vaikka lopputulos nähdäänkin reaaliajassa, elokuvien kohdalla kuva käy kuitenkin yleensä vielä perinteisen jälkituotantoprosessin läpi, jossa virtuaaliympäristö korvataan vielä laadukkaammalla versiolla. Livelähetyksiä varten reaaliajassa renderöityjen virtuaaliympäristöjen laatu on kuitenkin niin hyvä, että kohteiden taustalle pysytään renderöimään jo kokonaisia virtuaalisia studioympäristöjä ja fyysisiä studioita pystytään laajentamaan tietokonegrafiikalla todellisten lavasteiden ulkopuolelle.

ICVFX

ICVFX (in camera visual effects) on puolestaan menetelmä, jossa virtuaalitausta toteutetaan LED-paneeleilla. ICVFX-menetelmä tuottaa monien mielestä kaikista luonnollisimman lopputuloksen. Oikein toteutettuna ICVFX-menetelmällä voidaan tuottaa täysin valmista eli final pixel -kuvaa, jolloin jälkituotannolle ei välttämättä ole tarvetta tai tarve on enintäänkin hyvin pieni verrattuna perinteisiin menetelmiin.

Jos hybridivirtuaalituotannossa kuvaaja ja ohjaaja pystyivät näkemään virtuaaliympäristön reaaliajassa kuvaushetkellä, niin ICVFX-tuotannossa samaa etua pääsevät hyödyntämään kaikki tuotannossa työskentelevät tahot mukaan lukien näyttelijät. LED-volyymissä näyttelijöiden on helppo eläytyä kohtaukseen, koska he näkevät virtuaaliympäristön konkreettisesti ympärillään. Green screen -studioissa näyttelijöiden ympärillä on usein pelkkä vihreä tausta, ja näyttelijät ovat saattaneet nähdä pelkästään hahmotelmakuvia siitä, millaiselta lopullinen kohtaus voisi näyttää. Lisäksi läpinäkyvien ja kiiltävien esineiden kuvaaminen LED-volyymissä on helpompaa, koska ei tarvitse varoa vihreän värin heijastumista. Kuvassa 5 näkyy Mandalorian-sarjassa käytetty suuri LED-volyymi. Volyymien keskelle on rakennettu fyysisesti puolikas avaruusalus, joka jatkuu virtuaalisena LED-paneelin kuvassa.

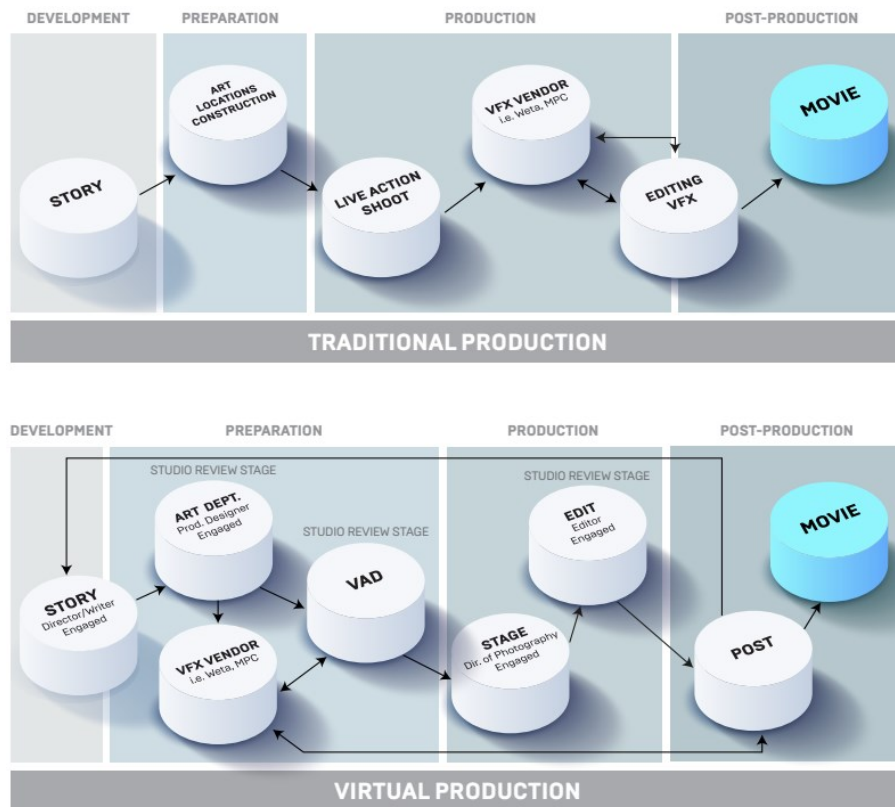


Kuva 5. Mandalorian-televisiosarjan kuvaukset LED-volyymissä (Baver 2020).

Vuoden 2019 Mandalorian-sarjan tuotantoa pidetään yleisesti yhtenä merkittävimmistä läpimurroista virtuaalituotannon saralla. Tuotannossa yhdistettiin ensimmäistä kertaa suuri LED-volyymi ja reaaliaikainen 3D-hahmontaminen pelimoottoria hyödyntäen. Mandalorian-sarjaa varten rakennettu LED-volyymi koostui noin kuusi metriä korkeasta ja 270 astetta kattavasta LED-seinästä ja katon peittävästä LED-paneelistä (The Mandalorian LED Wall: Ultimate Introduction is Here! 2023).

2.3 Virtuaalituotannon tuomat edut

Perinteisesti elokuvatuotanto seuraa hyvin lineaarista prosessia, jossa edetään askel kerrallaan eteenpäin aina kirjoitusvaiheesta tuotantoon ja jälkituotantoon. Virtuaalituotanto puolestaan mahdollistaa joustavamman tuotantoprosessin. (Kander 2019.) Kuvassa 6 on havainnollistettu sekä perinteisen tuotannon että virtuaalituotannon kulku.



Kuva 6. Vertailu perinteisen tuotantoprosessin ja virtuaalituotannon välillä (Kander 2019).

Työvaiheita on mahdollista tehdä perinteisestä prosessista poikkeavassa järjestyksessä ja jopa samanaikaisesti. Kuvattu työnkulku mahdollistaa helpomman iterointiprosessin, mikä puolestaan pienentää vaaraa sille, että jossain vaiheessa tuotantoa jumitutaan aiemmin tehtyjen päätösten seurauksena.

Lopputuloksen näkeminen reaaliajassa on yksi virtuaalituotannon suurimpia etuja. Kaikki tahot pystyvät näkemään kuvaushetkellä, miltä lopputulos tulisi näyttämään, mikä helpottaa luovien päätösten tekemistä. Lisäksi virtuaalituotanto nopeuttaa kuvausprosessia huomattavasti. Kuvausympäristöä voidaan vaihtaa hyvin nopeasti, ja virtuaalimaailmaa on mahdollista muokata kuvaushetkellä. Virtuaalituotannon avulla voidaan säästää myös matkustuskuluissa. Haluttuun kuvauspaikkaan voidaan lähettää pieni ryhmä tallentamaan kuvitusta, tai vaihtoehtoisesti paikka voidaan mallintaa täysin

digitaalisesti. Tämän jälkeen riittää, että muu ryhmä tulee paikalle studioon lopullisia kuvauksia varten.

2.4 Pelimoottorit virtuaalituotannossa

Pelimoottorit ovat videopelien kehitykseen tarkoitettuja ohjelmistoja. Ne laskevat muun muassa videopelien fysiikat, törmäykset, hahmot ja äänet. Pelimoottorit pystyvät myös renderöimään 3D-ympäristöjä tehokkaasti reaaliajassa, mikä on tärkeää virtuaalituotannon kannalta. Videopelien pelilogiikka ohjelmoidaan komentosarjoilla, joita pelimoottori suorittaa. Ohjelmoinnilla pelimoottoreiden toimintaa voidaan laajentaa helposti myös videopelien ulkopuolelle. Ohjelmakoodia voidaan kirjoittaa perinteisiä ohjelmointikieliä käyttäen. Jotkin pelimoottorit kuten Unreal Engine tarjoavat myös mahdollisuuden käyttää noodipohjaista visuaalista ohjelmointia, mikä on yleensä helpommin lähestyttävä vaihtoehto henkilöille, joilla ei ole aiempaa taustaa ohjelmoinnista. (An 2022.)

Pelimoottoreiden edut virtuaalituotannossa

Pelimoottoreiden käyttäminen voi säästää aikaa tuotannossa perinteisiin VFX-menetelmiin verrattuna. Aikaisemmin on jouduttu odottamaan useita tunteja tai jopa päiviä yksittäisen otoksen renderöintiä, mutta pelimoottoreiden avulla voidaan tuottaa lähes lopullista kuvaa täysin reaaliajassa. Pelimoottorit mahdollistavat myös samanaikaisen reaaliajassa tapahtuvan yhteistyön virtuaaliympäristön ja -lavasteiden rakennusvaiheessa. Esimerkiksi valaistuksen, rekvisiitan ja ympäristön luominen voi tapahtua samanaikaisesti yhden projektin sisällä. (An 2022.)

Pelimoottoreiden ohjelmitavuus tuo mahdollisuuden laajentaa niiden toiminnallisuuksia lähes loputtomasti eri käyttötarkoituksiin. Avoimen lähdekoodin projektien hyödyntäminen mahdollistaa, että yhteisö voi kehittää omia lisäosia virtuaalituotannon tarpeisiin, sekä jatkokehittää muiden tekemiä ominaisuuksia. Esimerkiksi Unreal Engine -pelimoottorin lähdekoodi on julkaistu

avoimesti internetissä, mikä mahdollistaa Unreal Enginen linkittämisen suoraan ulkoisiin ohjelmistoihin. Linkittämisen ansiosta monet VFX-alan ohjelmistot pystyvät käyttämään Unreal Enginen reaaliaikaista renderöintimoottoria virtuaaliympäristöjen esikatseluun. Avoin lähdekoodi mahdollistaa luonnollisesti myös omien lisäosien kehittämisen tietyn tuotannon tai yrityksen tarpeisiin, jotta pelimoottori voidaan yhdistää paremmin osaksi tuotantoketjua. (An 2022.)

Virtuaalituotannossa käytetyt pelimoottorit

Unreal Engine on Epic Gamesin kehittämä pelimoottori. Se on Unity Technologiesin kehittämän Unityn rinnalla yksi käytetyimmistä pelinkehitystyökaluista (Did you know that 60% of game developers use game engines? 2022).

Virtuaalituotannoissa selkeästi käytetyin pelimoottori on kuitenkin Unreal Engine. Tämä johtunee siitä, että Unreal Enginen virtuaali-tuotantotyökalut ovat tällä hetkellä kattavimmat, ja Epic Games on käyttänyt merkittävästi resursseja virtuaalituotannon kehittämiseen sekä markkinointiin. Unity on julkaissut omat avoimen lähdekoodin työkalunsa virtuaalituotantoa varten vuoden 2023 lopulla (Baril 2023). Työkalut ovat kuitenkin hyvin suppeat verrattuna Unreal Engineen varsinkin, kun puhutaan näyteltyjen videoiden tai elokuvien tuottamisesta. Unityä kuitenkin käytetään joidenkin digitaalisten animaatioelokuvien esivistuaalisoinnissa kattavien animaatio-ominaisuuksiensa ansiosta (An 2022).

3 Virtuaalituotannon tilannekatsaus

3.1 Markkinoilla olevat ratkaisut

Virtuaalituotanto-ohjelmistot

Tällä hetkellä Unreal Engine ja siihen perustuvat virtuaalituotanto-ohjelmistot ovat selkeästi ensisijainen vaihtoehto hybridi- ja ICVFX-virtuaalituotannoissa, joissa käytetään reaaliaikaista 3D-renderöintiä. Unreal Engine sisältää vakiona NDisplay-työkalun, jolla virtuaaliympäristö voidaan renderöidä LED-seinälle, sekä Composure-työkalun joka mahdollistaa väriavaintamisen ja visuaalisten

elementtien asettelun samaan tapaan kuin perinteisissä jälkituotanto-ohjelmistoissa. (Zwerman & Okun 2024.)

Markkinoilla on myös useita virtuaalituotanto-ohjelmistoja, jotka hyödyntävät Unreal Engineä virtuaaliympäristöjen luomiseen ja renderointiin. Ne lisäävät runsaasti hyödyllisiä ominaisuuksia, joita Unreal Engine ei tarjoa vakiona. Esimerkiksi Aximmetry, Zero Density, Pixotope ja StypeLand mahdollistavat Unreal Enginellä renderöityjen taustojen käytön lähetysoympäristössä sekä erilaisissa livetapahtumissa. Ohjelmistot sisältävät yleensä mahdollisuuden monikameratuotannoille green screen -studiossa ja pystyvät lisäämään virtuaaliympäristöön realistiset kohteen varjot ja heijastukset.

Touch Designer ja Notch ovat puolestaan esimerkkejä ohjelmistoista, joilla voidaan toistaa valmiiksi renderöityjä taustoja LED-seinillä sekä ohjata studiovalaisimia reaaliajassa videokuvan perusteella. Reagoivan valaistuksen ansiosta kohde saadaan sijoitettua uskottavammin virtuaaliseen ympäristöön, koska kohteeseen heijastuva valo reagoi taustalla tapahtuviin muutoksiin. Näin saadaan aikaiseksi myös täysin realistisen näköiset heijastukset läpinäkyviltä ja heijastavilta pinnoilta.

Seurantajärjestelmät

Kameran seuranta virtuaalituotannossa voidaan toteuttaa lukuisilla eri tavoilla. Seurantadataa voidaan kerätä erilaisilta liikeantureilta ja optisilta antureilta sekä koodereilta. Kohteiden seuranta ei kuitenkaan ole pelkästään virtuaalituotannolle ainutlaatuinen ongelma. Esimerkiksi liikkeenkaappauksessa ja virtuaaliodellisuuden sovelluksissa käytetään hyvin samankaltaista seurantatekniikkaa.

Esimerkiksi OptiTrack ja Vicon ovat alun perin liikkeenkaappaukseen kehitettyjä järjestelmiä, jotka on otettu myös virtuaalituotannon käyttöön. Molemmat järjestelmät tarvitsevat toimiakseen niin sanotun seurantavolyymin, joka koostuu useista katon rajaan sijoitetuista kameroista, jotka yhdistettynä pystyvät laskemaan kohteen sijainnin (kuva 7).



Kuva 7. Esimerkki OptiTrack-seurantavolyymistä (OptiTrack for Virtual Production).

Näiden järjestelmien etuna on erittäin tarkka ja luotettava seuranta, eikä itse kameraan tarvitse kiinnittää seurantalaitteita. Riittää, että kameraan on kiinnitetty kevyet markkerit, joita käytetään sijainnin määrittelyyn. Liikkeenkaappausvolyymien rakentaminen on kuitenkin hyvin kallista, joten sellaisen käyttäminen on lähtökohtaisesti mahdollista vain suurissa tuotannoissa. Liikkeenkaappausvolyymien käyttäminen voi olla perusteltua etenkin LED-volyymeissä, koska seinät ja katto ovat LED-paneelien peitossa. Tällöin ei voida käyttää järjestelmiä, jotka tunnistavat kohteen sijainnin seiniin tai kattoon kiinnitettyjen markkereiden perusteella. Liikkeenkaappauskamerat voidaan kuitenkin sijoittaa LED-volyymien kulmiin.

Green screen -virtuaalituotannoissa tai sellaisissa LED-volyymeissä, joissa kattoa ei ole peitetty LED-paneeleilla, voidaan käyttää kameraan kiinnitettäviä seurantalaitteita. Esimerkkejä tällaisista järjestelmistä on Mo-Sys, Zeiss Ncam ja Sony OCELLUS. Ne ovat alusta lähtien kameraseurantaan kehitettyjä järjestelmiä, jotka yhdistävät liikeanturin sekä optisen anturin datan (kuva 8).



Kuva 8. Sony OCELLUS -kameranseurantajärjestelmä (Introducing OCELLUS Camera Tracking System 2025).

Kameraan kiinnitettävä seurantajärjestelmä poistaa tarpeen erilliselle liikkeenkaappausvolyymille. Näin ollen säästetään jonkin verran kustannuksissa. Järjestelmä on myös helpompi rakentaa uuteen tilaan. Nämä järjestelmät käyttävät yleensä kattoon kiinnitettyjä markkereita, joita kameraan kiinnitetty optinen anturi seuraa. Kaikki kolme mainittua järjestelmää mahdollistavat kameran seurannan myös ilman markkereita, jolloin anturi käyttää ympäröivän tilan yksityiskohtia kameran liikkeen arvioimiseen.

Tähän asti mainitut järjestelmät ovat vähintään kymmenien tuhansien eurojen arvoisia, minkä takia ne harvoin soveltuvat pienten tuotantojen käyttöön. Kuluttajille suunnatut virtuaalitodellisuusjärjestelmät kuitenkin käyttävät pitkälti samankaltaista teknologiaa kuin kalliit seurantajärjestelmät, mutta kuluttajajärjestelmien hankintahinta on vain joitain tuhansia euroja. Esimerkiksi HTC VIVE -järjestelmää käytetään usein virtuaalituotannossa, koska järjestelmään voidaan liittää helposti lisäseurantalaitteita, jotka voidaan kiinnittää virtuaalituotannon tapauksessa kameraan. HTC on kehittänyt myös

suoraan virtuaalituotantoon suunnatun VIVE Mars -järjestelmän, joka hyödyntää samoja seurantalaitteita kuin heidän virtuaaliodellisuusjärjestelmänsä. Erona on kuitenkin, että seurantalaitteet yhdistyvät erilliseen prosessointiyksikköön, joka lähettää seurantadatan suoraan virtuaalituotanto-ohjelmistoon (kuva 9).



Kuva 9. VIVE tracker -seurantalaite ja VIVE Mars -prosessointiyksikkö (VIVE Mars CamTrack).

Antilatency on toinen valmistaja, jonka tarjoama järjestelmä on alun perin kehitetty virtuaaliodellisuutta varten mutta sittemmin otettu käyttöön myös virtuaalituotannossa. Virtuaaliodellisuuden käyttöön kehitetyt järjestelmät eivät tarjoa yhtä hyvää tarkkuutta ja luotettavuutta liikkeenkaappaukseen tai täysin virtuaalituotantoon tarkoitettuihin järjestelmiin verrattuna.

Virtuaaliodellisuuslaitteet toimivat kuitenkin riittävällä tasolla, jotta niitä voidaan käyttää pienissä tuotannoissa.

3.2 Reaaliaikainen renderöinti

Reaaliaikainen renderöinti on virtuaalituotannon keskiössä. Reaaliaikaista renderöintiä on voitu käyttää visualisoinnin apuna jo pitkään. Vuoden 2009 Avatar-elokuvan tuotannossa käytettiin ensimmäisenä reaaliaikaista virtuaalituotantoa sekä liikkeenkaappausta. Tuotantoa varten kehitettiin

erityinen liikkeenkaappausvolyymi, jonka sisällä näyttelijöiden liikkeet tallennettiin myöhemmin käytettäväksi digitaalisten hahmojen animaatioissa. Ohjaaja James Cameronilla oli käytössään virtuaalinen kamera, jonka läpi hän pystyi näkemään virtuaaliset hahmot sekä virtuaaliympäristön reaaliajassa (kuva 10).



Kuva 10. Avatar-elokuvaa varten kehitetty virtuaalikamera (Rosenbaum).

Virtuaalikameran kuva oli kuitenkin vain karkea hahmotelma lopullisesta kuvasta. Cameron kuvaili virtuaalikameran kuvan näyttävän hieman 80-luvun videopeliltä. (James Cameron - Performance Capture reinvented.)

Visualisoinnissa virtuaalisen kuvan laatu ei ole kriittistä, mikä tarkoittaa, että virtuaaliympäristön renderöimiseen ei tarvita suuresti prosessointitehoa. Yleensä riittää vain karkea hahmotelma lopullisesta kuvasta. Jos virtuaalituotannossa kuitenkin halutaan tuottaa kuvaushetkellä lopullista kuvaa, renderöintitehoa vaaditaan virtuaaliympäristöstä riippuen hyvinkin paljon. Varsinkin fotorealisticen valaistuksen laskeminen reaaliajassa on erittäin raskasta. Siksi suurin osa elokuva- ja TV-tuotannoista toteuttaa edelleen lopullisen kuvan renderöinnin jälkikäteen kuvausten päätyttyä. Kuvaushetkellä käytetään puolestaan kevyempää renderöintitekniikkaa visualisoinnin apuna.

Poikkeuksena ovat ICVFX-tuotannot. Näissä tapauksissa virtuaalitausta on nimenomaisesti vain taustalla ja kamera on yleensä tarkennettu näyttelijään. LED-seinän edessä kuvatut kohtaukset pyritään yleisesti pitämään lähi- tai puolikuvina, sillä seinä on yleensä rajoitetun kokoinen. Rajattu kuvakoko tarkoittaa sitä, että virtuaalitausta pysyy yleensä kameran tarkennuksen ulkopuolella, jolloin voidaan käyttää suhteellisen pientä renderöintiresoluutiota, mikä puolestaan mahdollistaa fotorealisticen taustan renderöinnin reaaliajassa.

Green screen -taustalla kuvatussa hybridivirtuaalituotannossa kuvakoolle ei ole samanlaisia rajoitteita. Mikäli esimerkiksi kohteen halutaan seisovan täysin virtuaalisessa ympäristössä, ei enää riitä, että renderöidään pelkkä matalaresoluutioinen tausta, joka on sumeana taustalla. Sen sijaan virtuaaliympäristö renderöidään täydellä resoluutiolla, mikä nykypäivän tuotannoissa tarkoittaa usein 4K:ta eli 3840 x 2160 pikseliä tai elokuvatuotannoissa yleisimmin 4096 x 2160 pikseliä. 4K-resoluutiolla renderöitäessä joudutaan nykyisellä grafiikanprosessointiteknologialla tinkimään realismista sen verran, että kuva ei ole aivan tarpeeksi laadukasta useimpiin elokuvatuotantoihin. Joidenkin suorien uutislähetysten ja urheilulähetysten studioiden renderöimiseen laatu on riittävä, sillä ne ovat grafiikaltaan yleensä yksinkertaisempia ja suurin osa suorista lähetyksistä lähetetään edelleen enintään Full HD -laadulla eli 1920 x 1080 pikselillä, joka on vain neljäsosa 4K-resoluutiosta.

Täysin fotorealisticen taustojen renderöinti ei kuitenkaan ole kovin kaukana tulevaisuudessa. Nykypäivän tehokkaimpien grafiikkaprosessoreiden ja parhaimpien laitteistoväriavaintimien avulla päästään jo hyvin lähelle fotorealisticuutta. (Zwerman & Okun 2024.) Uusin huipputeknologia on kuitenkin kallista. Mikäli halutaan saavuttaa mahdollisimman hyviä lopputuloksia, virtuaalitudion täytyy olla rakennettu riittävän laadukkaasti. Säästöt laitteistossa heijastuvat suoraan lopputuloksen laatuun, joten ennen virtuaalituotantoon siirtymistä on mietittävä tarkkaan, mitä virtuaalituotannolla halutaan saavuttaa ja mitä muita vaihtoehtoja on. Usein täysin digitaalisen 3D-

virtuaaliympäristön sijasta voidaan käyttää 2D-videoelementtejä ja perinteisiä visuaalisia tehosteita. (Dinur 2023.)

3.3 Virtuaalituotantojen kehityssuunta

COVID-19-pandemian aiheuttamien matkustuskieltojen aikana hyvin monet tuotannot ympäri maailmaa siirtyivät yhtäkkiä virtuaalituotantoihin. Sen seurauksena viime vuosina on nähty hyvin nopeaa kehitystä sekä virtuaalituotantoteknologiassa että sitä hyödyttävissä menetelmissä. Monissa tuotannoissa onkin huomattu virtuaalituotannon tuovan paljon etuja perinteisiin menetelmiin nähden. Se ei tietenkään tarkoita kaikkien tuotantojen siirtymistä virtuaalituotantoihin. Perinteisillä lavasteilla ja kuvauslokaatioilla on edelleen paikkansa. Virtuaalituotanto on kuitenkin tärkeä visualisoinnin työkalu myös sellaisissa tuotannoissa, joita ei välttämättä kuvata virtuaalistudiossa. Vakiintuneempien menetelmien ja teknologioiden kehittyessä virtuaalituotantoa tullaan hyödyntämään yhä useammissa tuotannoissa.

Isojen Hollywood-tuotantojen lisäksi myös keskisuuret ja pienet tuotannot pystyvät tulevaisuudessa hyödyntämään virtuaalituotantoa helpommin työkalujen kehittyessä ja yhä useampien edullisten virtuaalituotantolaitteiden sekä -ohjelmistojen tullessa markkinoille. Yksittäiset sisällöntuottajat ja pienet tuotannot voivat hyödyntää jo nyt älypuhelinpohjaisia ohjelmistoja virtuaalituotannon kokeilemiseen tai yksinkertaisten tuotantojen toteuttamiseen. Esimerkiksi Aximmetry Eye -sovellus mahdollistaa älypuhelimien tuottaman videokuvan ja seurantadatan lähettämisen tietokoneelle Aximmetry-virtuaalituotanto-ohjelmistoon. Aximmetry Eye -sovelluksella voidaan toteuttaa yksinkertaisia green screen -virtuaalituotantoja ilman tarvetta erilliselle kameralle tai seurantajärjestelmälle. (What is Aximmetry Eye and How to Use it? 2024.) Älypuhelinien kameroiden ja prosessointitehon kehittyessä voi olettaa, että tulevaisuudessa älypuhelimilla pystytään saavuttamaan yhä paremman näköisiä virtuaalituotantoja. Jossain vaiheessa renderöinti voidaan todennäköisesti tehdä tietokoneen sijasta suoraan älypuhelimella.

Tekoäly mahdollistaa jo tällä hetkellä uskottavien staattisten taustojen luomisen virtuaalituotantoa varten tekstikomennoilla. Pian sama tulee mahdolliseksi myös 3D-virtuaaliympäristöjen osalta. Tulevaisuudessa tekoälymallien odotetaan pystyvän luomaan monimutkaisia 3D-ympäristöjä joko annetun valokuvan tai tekstin perusteella. Tekoälyn kehityksen myötä pienetkin tuotannot pystyvät tulevaisuudessa saavuttamaan hyvin laadukkaita lopputuloksia, vaikka heillä ei välttämättä olisi resursseja tai osaamista laadukkaiden 3D-mallien tuottamiseksi. (Silva Jasau ym. 2024.)

4 Asiakkaan virtuaalitudion kehittäminen

Tuotantolinjan suunnittelussa aloitettiin siitä, miten virtuaalituotantojen toteuttamisesta saataisiin tehtyä mahdollisimman vaivatonta. Haluttiin myös, että tuotantolinja kattaisi mahdollisimman laajasti erilaisten tuotantojen tarpeet. Ensisijaisena tavoitteena oli luoda tuotantolinja yhden kameran live ja nauhoitettuja tuotantoja varten green screen -studioissa, mutta luotiin myös valmiudet useampien kameroiden lisäämiselle tulevaisuudessa monikameratuotantoja varten.

4.1 Ohjelmistot

Asiakkaalla on käytössä sekä Unreal Engine- että Aximmetry-ohjelmistot. Kummassakin ohjelmistossa on omat vahvuutensa ja rajoitteensa, joten ohjelmiston valinta riippuu tuotannon luonteesta. Niinpä päädyttiin erottelemaan, missä tuotannoissa käytettäisiin mitäkin ohjelmistoa. Aximmetry on käyttöliittymänsä puolesta käyttäjäystävällisempi, ja Aximmetryssä on sisäänrakennettuna enemmän virtuaalituotantokeskeisiä ominaisuuksia verrattuna Unreal Engineen.

Yksi Aximmetryn suurimmista eduista Unreal Engineen verrattuna on Aximmetryyn sisään rakennettu laadukas väriavainnin. Unreal Engineessä on myös mahdollisuus väriavaintamiseen, mutta se on jokseenkin hankalakäyttöinen, eikä tuota yhtä hyviä tuloksia. Unreal Enginen kanssa

päädyttiin käyttämään ulkoista Blackmagic Design Ultimatte 12 -väriavainninta. Ulkoisen väriavaintimen käyttö tarkoitti, että myös kuvan monitorointi sekä tallennus täytyi tehdä ulkoisesti lisäten laitteiston ja kytkentöjen määrää. Näin ollen Aximmetry valikoitui ensisijaiseksi vaihtoehdoksi yksinkertaisissa virtuaalituotannoissa. Unreal Engine puolestaan soveltuu paremmin monimutkaisiin tuotantoihin, ja sillä on myös kustannustehokkaampaa toteuttaa monikameratuotantoja. Mikäli Aximmetryssä haluttaisiin tehdä yhtä laadukkaita monikameratuotantoja kuin Unreal Enginessä, tarvittaisiin jokaista seurattua kameraa varten erillinen Aximmetry-lisenssi, mikä koituisi hyvin kalliiksi. Unreal Enginen lisenssi puolestaan mahdollistaa Unreal Enginen käytön ilmaiseksi, mikäli tietyt liikevaihdon rajat eivät ylity.

4.2 Kameranseuranta

Seurantalaitteisto

Asiakkaalla on yhdessä studiotiloistaan käytössä Antilatency-seurantajärjestelmä. Antilatency-järjestelmä käyttää sekä optista anturia että inertiamittausyksikköä (IMU) kameranseurantaan. Käytännössä kameras pälle sijoitetaan pieni anturi, joka kuvaa studion katossa olevia infrapunapisteitä, minkä perusteella anturi laskee kameras sijainnin (kuva 11).



Kuva 11. Vasemmalla Antilatency Alt -seurantalaite ja oikealla LOLED Indiemark -kooderit.

Kameran kallistuskulman laskemiseen anturi käyttää IMU:ta, jonka antama tulos korjataan optisen anturin tiedoilla. (Alt.) Kameran sijainnin lisäksi seurataan objektiivin polttoväliä ja tarkennusta. Objektiivin seurantaan käytettiin LOLED Indiemark -koodereita (kuva 11).

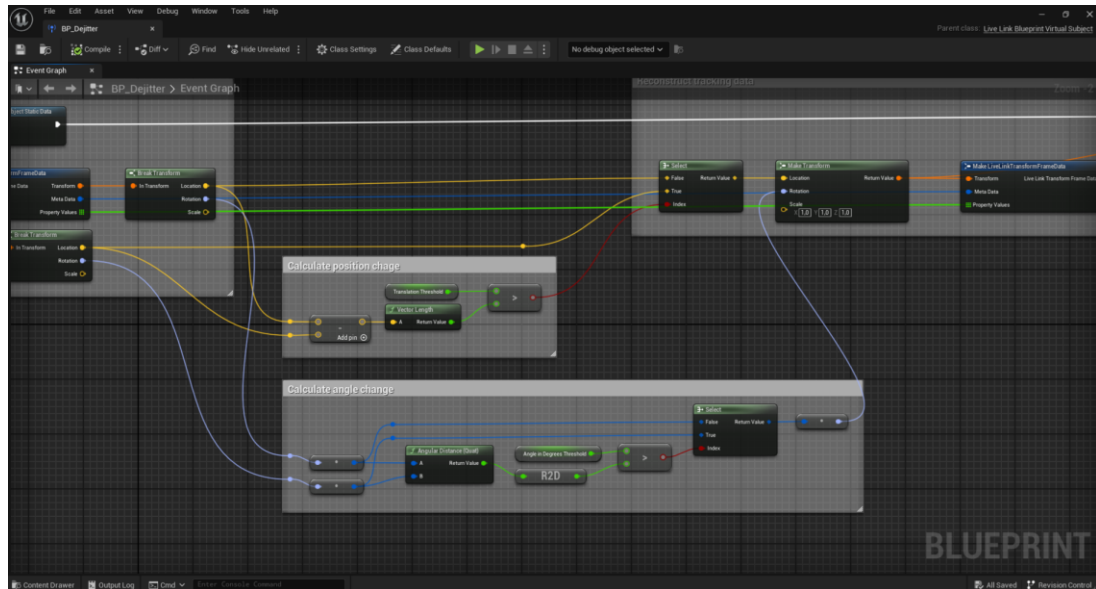
Seurannan ongelmanratkaisu

Kameran seuranta kokeilussa huomattiin kaksi ongelmaa. Ensimmäinen ongelma oli, että paikallaan seisova kuvattava kohde vaikutti liukuvan virtuaaliympäristöön nähden kameraa liikuteltaessa. Toinen ongelma ilmeni kameran ollessa paikoillaan. Tällöin kameran seurannassa oli havaittavissa pientä nykimisliikettä tai tärinää. Ensimmäinen ongelma johtui siitä, että Antilatency-anturin ja objektiivin optisen keskipisteen välinen etäisyys ei ollut kompensoitu oikein. Jotta virtuaalikameran liike saadaan vastaamaan fyysisen kameran liikettä, seurantadatan täytyy vastata objektiivin optisen keskipisteen sijaintia tarkalleen. Seurantalaitetta ei ole kuitenkaan mahdollista sijoittaa objektiiviin, joten optisen keskipisteen ja seurantalaitteen välinen etäisyys kompensoitiin ohjelmallisesti. Etäisyys mitattiin huolellisesti, ja arvot syötettiin ohjelmistoon, minkä jälkeen seurannan liukumista ei enää tapahtunut.

Seurannan tärinän syyn selvittäminen aloitettiin tekemällä seuranta-alueen skannaus Antilatencyn virheenmääritysohjelmalla. Skannaus tehtiin kuljettamalla Antilatency-anturia koko seuranta-alueen läpi ja tulkitsemalla sensorin tuottamasta datasta mahdollisia ongelmakohtia. Skannauksen tuloksena ei kuitenkaan löydetty selkeää ongelmaa. Tultiin siihen loppupäätelmään, että nykyisellä infrapunamarkkereiden sijoittelulla seurantaan jää hieman epätarkkuutta, mikä aiheuttaa pientä tärinää kuvassa.

Markkereiden sijoittelua ei muutettu insinööriyön aikana rajallisen aikataulun takia. Sen sijaan seurannan epätarkkuus kompensoitiin ohjelmallisesti sekä Unreal Engineissä että Aximmetryssä. Aximmetrystä löytyi asetus, jolla voitiin suodattaa seurannasta pois pieniä mikroliikkeitä. Asetukselle etsittiin kokeellisesti sopiva arvo, jolla seurannan tärinäliike hävisi mutta joka ei

kuitenkaan vaikuttanut kameran panorointiin. Unreal Engineissä ei ollut vastaavaa asetusta vakiona. Toiminto päädyttiin ohjelmoimaan käyttäen Unreal Enginen visuaalista ohjelmointikieltä (Blueprints). Kuvassa 12 näkyy Blueprint-koodin osa, joka laskee seurantadatan arvon muutoksen.



Kuva 12. Seurantadatan suodattaminen Blueprint-komentosarjalla.

Joka kerta, kun seurantadatan arvo muuttuu, Blueprint-koodi vertaa uutta arvoa edelliseen arvoon. Mikäli arvo on muuttunut yli käyttäjän antaman raja-arvon verran, koodi päästää arvon läpi sellaisenaan. Muussa tapauksessa koodi pitäytyy edellisessä arvossa.

Seurantadatan reititys

Osana virtuaalituotannon yksinkertaistamista päädyttiin muuttamaan seurantadatan reititystä kamerasta renderöintikoneelle. Laitteiden välimatka on noin 20 metriä, sillä renderöintikone sijaitsee erillisessä tarkkaamotilassa. Välimatka on haastava, sillä seurantalaitteet käyttävät datan lähettämiseen USB 2.0-standardia, jonka kantama on enimmillään noin 5 metriä. Ongelma oli alun perin ratkaistu siten, että kameran vieressä oleva kannettava tietokone vastaanotti seurantadatan ja välitti sen eteenpäin studion lähiverkkoon, johon renderöintikone oli myös yhdistetty. Kannettava tietokone päädyttiin

korvaamaan USB-Ethernet-muuntimella, joka lähettää USB-signaalin Ethernet-kaapelia pitkin toisessa päässä olevaan muuntimeen, joka puolestaan muuntaa signaalin takaisin USB-muotoon. Muuntimien ansiosta saatiin poistettua ylimääräistä laitteistoa signaaliketjusta parantaen signaalinkulun luotettavuutta. Lisäksi kytkentöjen määrä väheni muutoksen ansiosta tehden laitteiden yhdistämisestä yksinkertaisempaa.

4.3 Virtuaaliympäristöt

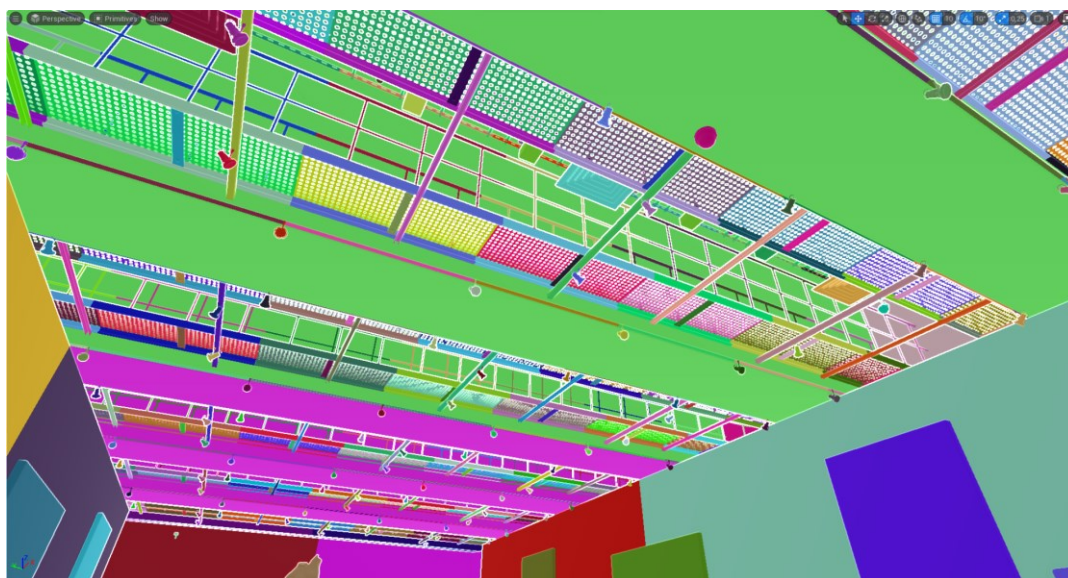
Virtuaalitudion esittelyä ja asiakkaan omia virtuaalituotantoja varten hankittiin kokoelma valmiita virtuaaliympäristöjä. Ympäristöjen hankinta aloitettiin konsultoimalla asiakkaan eri osastoja. Osastojen kanssa käytiin läpi, millaiset virtuaaliympäristöt sopisivat heidän tuotantoihinsa sekä millaisista ympäristöistä mahdolliset ulkoiset asiakkaat voisivat olla kiinnostuneita. Yleisenä toiveena oli, että ympäristöt olisivat mahdollisimman realistisen näköisiä, jotta henkilön sijoittaminen virtuaaliympäristöön näyttäisi luonnolliselta. Suurin osa markkinoilla olevista valmiista virtuaaliympäristöistä oli kuitenkin tehty käytettäväksi videopeleissä, joiden ulkonäkö on yleensä tyylitellympää, sillä realistisen näköiset ympäristöt ovat usein liian raskaita pelikonsoleille ja -tietokoneille.

Asiakkaan omia projekteja varten päädyttiin hankkimaan muutama ympäristökokoelma Evermotion-nimiseltä yritykseltä, joka on erikoistunut laadukkaiden 3D-mallien ja -ympäristöjen valmistamiseen. Lisäksi hankittiin muutama ympäristö FAB-alustalta, joka on Epic Gamesin luoma markkinapaikka pääasiassa peleihin tarkoitetuille 3D-malleille ja sisällölle. Ympäristöjen hankinnassa varmistettiin, että ympäristöt ovat yhteensopivia asiakkaalla käytössä olevien Unreal Engine- ja Aximmetry-versioiden kanssa. Ympäristöjen teknisten kuvausten perusteella pyrittiin varmistamaan myös, että ympäristöjä pystyttäisiin renderöimään reaaliajassa asiakkaan laitteistolla.

Markkinoilta löytyi hyvin vähän virtuaalituotantoon tarkoitettuja valmiita virtuaaliympäristöjä. Asiakkaan käyttöön hankitut ympäristöt oli suunniteltu

käytettäväksi joko peleissä tai arkkitehtuurin visualisoinnissa, minkä takia ympäristöjä jouduttiin muokkaamaan virtuaalituotantoon sopiviksi. Ympäristöistä poistettiin ensin kaikki elementit, jotka eivät olleet oleellisia virtuaalituotannon kannalta, kuten ylimääräiset virtuaalikamerat, jälkikäsitteleyefektit ja valot.

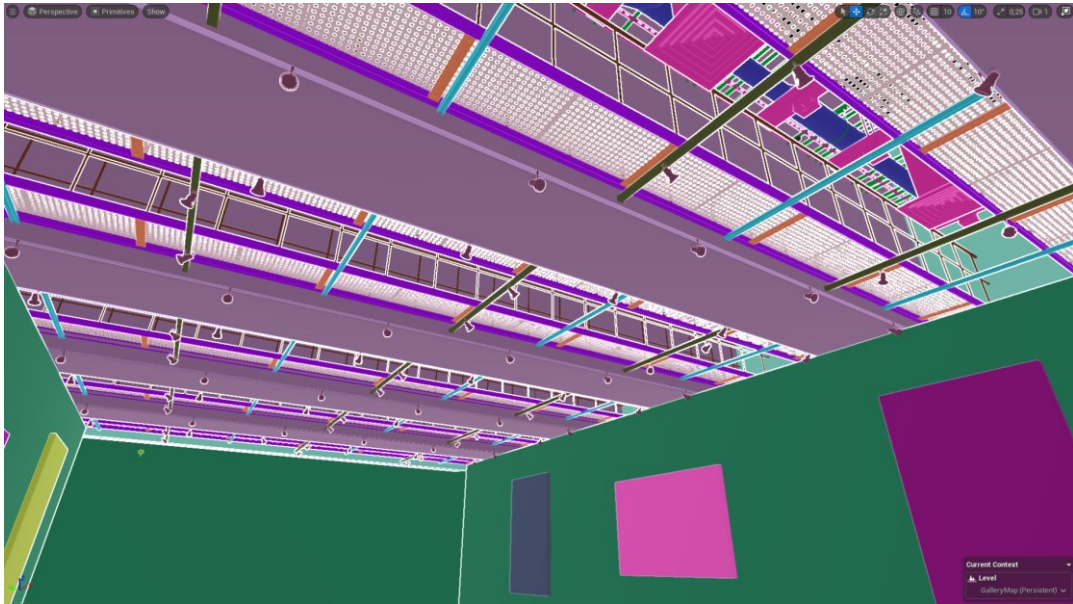
Renderöinnin kannalta asiakkaan kriteerinä oli, että kaikkien virtuaaliympäristöjen renderöinti olisi mahdollista reaaliajassa 4K-resoluutiolla (3840 x 2160 pikseliä) ja 50 FPS kuvataajuudella. Evermotionilta hankitut ympäristöt olivat sellaisenaan liian raskaita reaaliaikaiseen tuotantoon. 4K-resoluutiolla päästiin vain noin 20 FPS kuvataajuuteen. Ympäristöihin oli kuitenkin mahdollista tehdä optimointeja, joilla renderöintikoneen taakkaa saataisiin pienennettyä. Ensimmäisenä huomattiin, että samaa 3D-objektia saattoi olla kopioituna jopa useita kymmeniä kappaleita. Unreal Enginen Nanite Primitives -työkalulla nähdään jokainen yksittäinen 3D-objekti väritettynä omalla värillään. (kuva 13).



Kuva 13. Unreal Enginen Nanite Primitives -työkalun näkymä ennen 3D-objektien yhdistämistä.

Kuvan ympäristössä oli alun perin yhteensä 1 671 objektia. Samanlaiset objektit yhdistettiin Unreal Enginen Merge Actors -työkalulla. Yhdistämällä 3D-objektien

määrä väheni vain 34 objektiin, mikä on noin 98 %:n vähennys alkuperäiseen verrattuna (kuva 14).

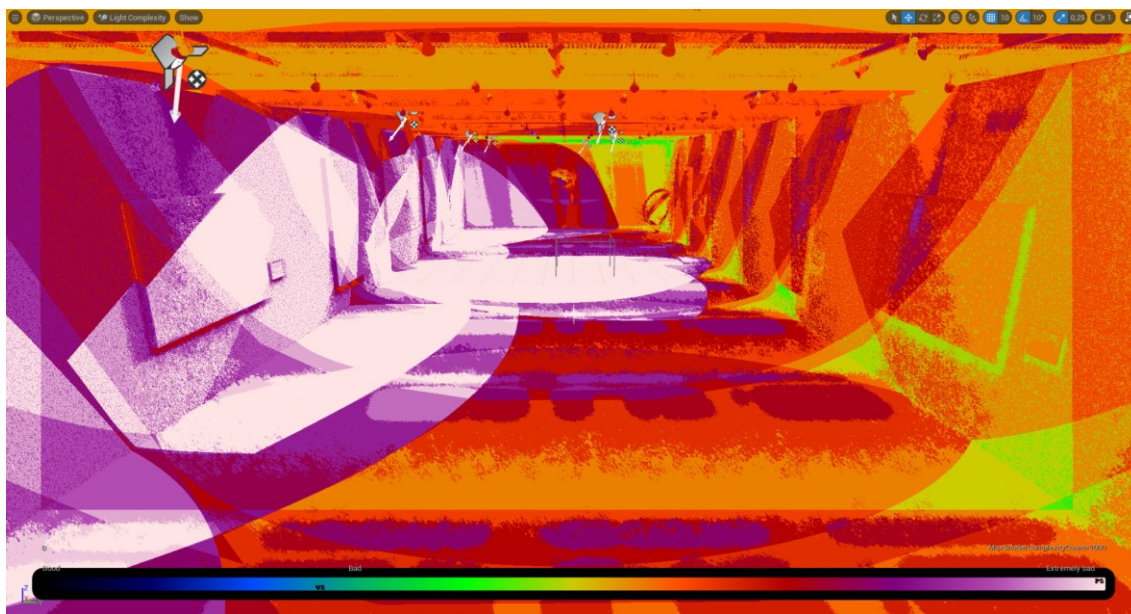


Kuva 14. Unreal Enginen Nanite Primitives -työkalun näkymä 3D-objektien yhdistämisen jälkeen.

3D-objektien yhdistäminen vähensi piirtokutsujen määrää huomattavasti. Piirtokutsu on pelimoottorin lähettämä komento, jonka perusteella grafiikkasuoritin renderöi 3D-objektin. Yksittäisen piirtokutsun prosessointikustannus on vakio, joten piirtokutsujen määrällä on suora vaikutus virtuaaliympäristön renderöinnin nopeuteen. (Serpa & Rodrigues 2019.) Samanlaiset 3D-objektit yhdistämällä grafiikkasuorittimen täytyy prosessoida objektin materiaali ja rakenne vain kerran sen sijaan, että prosessointi tehtäisiin erikseen jokaiselle objektille.

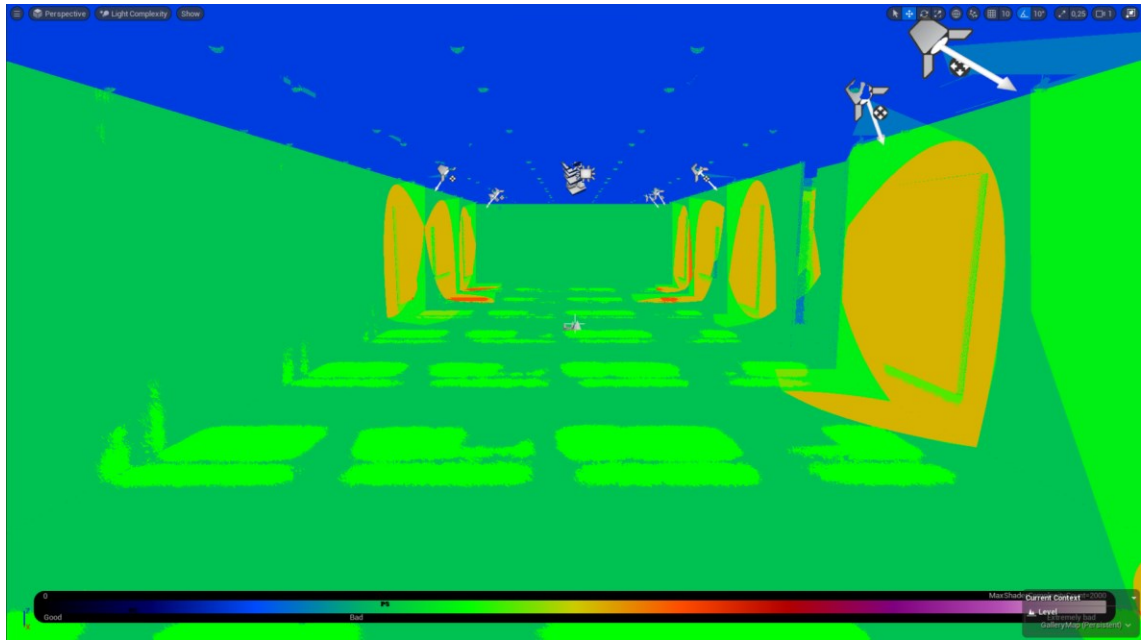
Myös valaistus oli tehty epäoptimaalisella tavalla suurimmassa osassa hankituista ympäristöistä. Lähes kaikki virtuaaliympäristöt käyttivät Unreal Enginen Lumen-valaistusjärjestelmää, joka laskee valaistuksen täysin dynaamisesti reaaliajassa säteenseurantateknologialla. Lumen-järjestelmä käy kuitenkin hyvin raskaaksi renderöintikoneelle, mikäli valonlähteiden määrä on suuri. Esimerkiksi Evermotionin taidenäyttely-ympäristö sisälsi 19 dynaamista

valonlähdettä yksittäisen tilan sisällä. Kuvassa 15 on havainnollistettu valaistuksen kuormittavuus Unreal Enginen Light Complexity -työkalulla.



Kuva 15. Epäoptimaalinen valaistus Unreal Enginen Light Complexity -työkalulla tarkasteltuna.

Punainen ja purppura tai valkoinen väri kuvassa tarkoittaa, että yli viisi valoa vaikuttaa samalle alueelle. Useamman valon valaistessa samaa kohtaa pelimoottori joutuu laskemaan valaistuksen ja varjot useaan kertaan samalle objektille, mikä lisää tietokoneen näytönohjaimen kuormaa huomattavasti. Alkuperäisessä ympäristössä valaistuksen laskeminen vei 25 ms kuvaruutua kohden, mikä oli noin 92 % koko ympäristön laskenta-ajasta. Valaistuksen optimointiin on kuitenkin useita keinoja. Valaistus voidaan esimerkiksi muuttaa dynaamisen sijaan staattiseksi. Staattisia valoja ei voida muokata reaaliajassa, minkä ansiosta valaistus voidaan laskea etukäteen vähentäen reaaliaikaisen renderöinnin kuormaa. Staattinen valaistus kuitenkin tuotti ongelmia Evermotionin ympäristöissä, joten niiden valaistus pidettiin dynaamisena. Yksittäisten valonlähteiden määrää kuitenkin vähennettiin huomattavasti, sillä suurin osa valoista oli tarpeettomia virtuaalituotannon kannalta (kuva 16).



Kuva 16. Optimoitu valaistus Unreal Enginen Light Complexity -työkalulla tarkasteltuna.

Valojen määrää vähennettiin 19 valosta 11 valoon, ja niiden sijoittelua muokattiin niin, että valot osuisivat mahdollisimman vähän samoihin kohtiin. Valaistuksen renderöinnin laatua heikennettiin myös hieman alkuperäisestä, koska alkuperäiset renderöintiasetukset olivat tarpeettoman korkeat reaaliaikaiseen tuotantoon. Optimointien jälkeen virtuaaliympäristön valaistuksen laskeminen vei enää vain 3,72 ms kuvaruutua kohden. Valaistuksen laskemiseen kuluva aika saatiin siis vähennettyä noin 85 % alkuperäiseen verrattuna. Kokonaisuudessaan virtuaaliympäristön renderöintitaakkaa saatiin vähennettyä noin 78 %, mikä tarkoitti kuvataajuuden nousua 20 kuvasta 90 kuvaan sekunnissa 4K-resoluutiolla.

4.4 Tuotantolinjojen kehittäminen

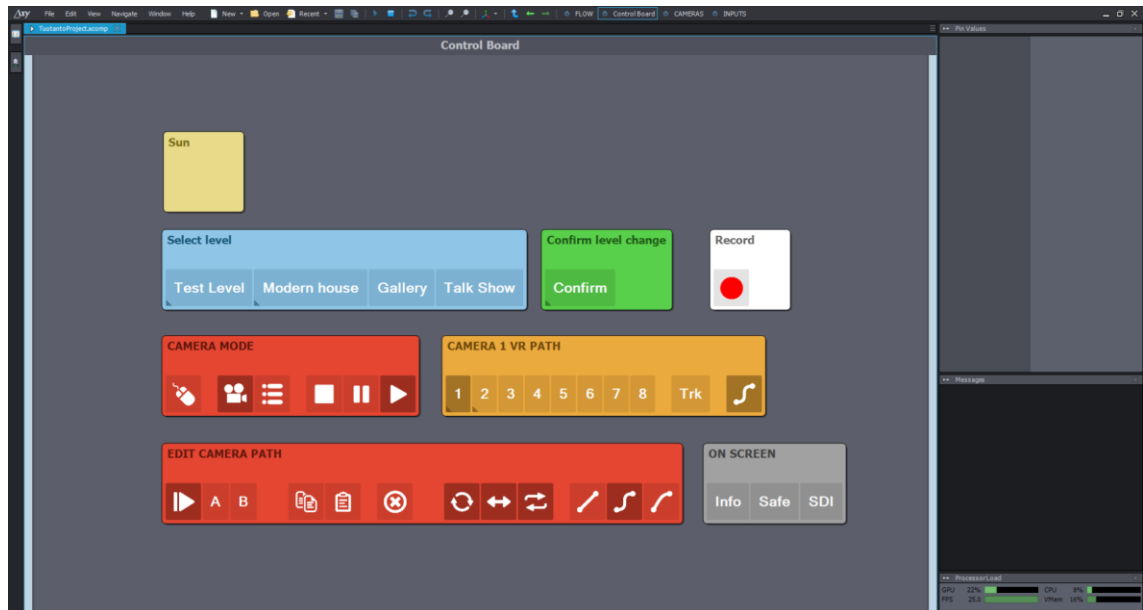
Insinööriyön tavoitteena oli kehittää asiakkaan virtuaalitudiosta mahdollisimman helppokäyttöinen. Asiakkaan toiveena oli, että päästäisiin mahdollisimman lähelle niin sanottua plug and play -ratkaisua. Toisaalta

virtuaalstudio haluttiin kuitenkin pitää ominaisuuksiltaan monipuolisena. Niinpä päädyttiin laatimaan kaksi eri virtuaalituotannon tuotantolinjaa.

Aximmetry-tuotantolinja

Ensimmäisen tuotantolinjan tarkoituksena oli mahdollistaa virtuaalituotanto mahdollisimman pienellä vaivalla ja vähällä laitteistolla. Aximmetry oli selkeä valinta ohjelmistoksi tähän käyttötarkoitukseen. Aximmetryä käyttäessä tarvittavan laitteiston ja kytkentöjen määrä on pieni, sillä kaikki oleelliset toiminnot ovat sisäänrakennettuna ohjelmistossa. Lisäksi Aximmetryyn on mahdollista luoda itse helposti omia käyttöliittymiä sekä lisäominaisuuksia. Aximmetry käyttää virtuaaliympäristöjen renderöintiin Unreal Engine for Aximmetry -ohjelmistoa, joka on hieman muokattu versio vakio Unreal Engine -pelimootorista. Hankitut virtuaaliympäristöt tuotiin uuteen Unreal Engine for Aximmetry -projektitiedostoon. Jotta virtuaaliympäristöä voitaisiin vaihtaa saumattomasti Aximmetrystä käsin, tehtiin Unreal Engine -projektiin yksi pääympäristö, johon voidaan tuoda yksitellen muita virtuaaliympäristöjä Blueprint-komentosarjalla. Blueprint-ohjelmoinnilla tehtiin toiminnallisuus myös auringon asennon muuttamiselle, jotta virtuaaliympäristön vuorokaudenaikaa olisi helppo muuttaa Aximmetryssä.

Unreal Engine -projektin lisäksi myös Aximmetryyn tehtiin uusi projektitiedosto. Ensiksi tiedostoon määriteltiin tarvittavat kytkennät muun muassa kameralle, seurantalaitteille ja näytöille. Aximmetryn visuaalista ohjelmointia käyttäen tehtiin toiminnot, jotka lähettävät komentoja Unreal Engineen virtuaaliympäristön ja auringon kulman vaihtamista varten. Aximmetryyn ohjelmoitiin toiminto myös videon nauhoittamista varten. Kaikkia Aximmetryn yleisimmin käytettyjä toimintoja sekä itse ohjelmoituja ominaisuuksia varten luotiin oma käyttöliittymä erilliselle välilehdelle Aximmetryn sisällä (kuva 17).



Kuva 17. Aximmetry-ohjelmistoon tehty käyttöliittymä virtuaalitudion ohjaamista varten.

Tarkoituksena oli, että normaalissa käytössä ei tarvitsisi juurikaan käyttää muita ohjelmiston välilehtiä tai edistyneitä valikoita, sillä kaikki oleelliset asetukset ja parametrit on asetettu valmiiksi.

Unreal Engine -tuotantolinja

Vaikkakin suurin osa virtuaalituotannoista voidaan toteuttaa Aximmetryllä, haluttiin luoda myös valmiudet Unreal Enginen käyttämiselle monimutkaisissa virtuaalituotannoissa. Esimerkiksi suurten tai erittäin yksityiskohtaisten virtuaaliympäristöjen renderöimiseen Unreal Engine toimii yleensä Aximmetryä paremmin, koska Unreal Enginessä on mahdollista mukauttaa renderöintiasetuksia paljon laajemmin. Lisäksi asiakkaalla on tarkoituksena tehdä tulevaisuudessa monikameravirtuaalituotantoja, joihin Unreal Enginen todettiin olevan laadukkaampi ja kustannustehokkaampi vaihtoehto kuin Aximmetry. Insinööryön aikana asiakkaalla oli kuitenkin käytössä vain yksi renderöintikone. Monikameravirtuaalituotannossa jokaiselle seuratulle kameralle tarvittaisiin oma renderöintikoneensa, joten monikameratuotanto päätettiin jättää insinööryön laajuuden ulkopuolelle. Monikameratuotantoihin

laajentaminen pitäisi kuitenkin onnistua monistamalla yhden kameran järjestelmä haluttuun kameramäärään.

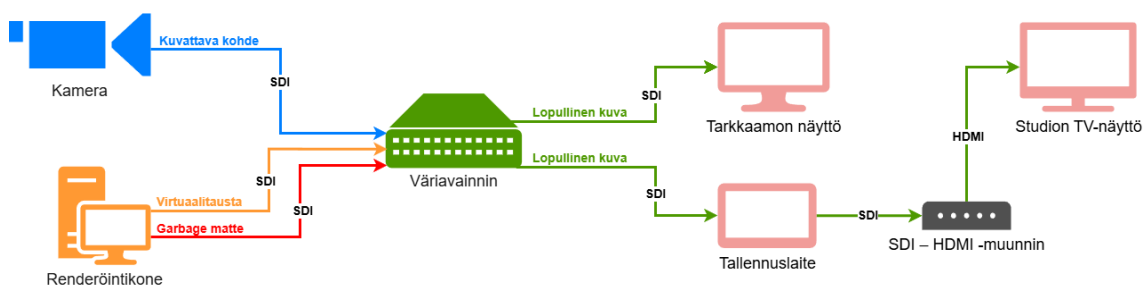
Unreal Engineen luotiin yksittäinen projektitiedosto, johon lisättiin kaikki virtuaaliympäristöt. Virtuaaliympäristöjen vaihtaminen toteutettiin vastaavalla tavalla kuin Aximmetryssä. Monet virtuaalituotanto-ominaisuudet eivät kuitenkaan ole vakiona näkyvissä Unreal Engineessä. Esimerkiksi seurantalaitteita ja SDI (Serial digital interface) -videoulostuloa varten täytyi Unreal Engine -projektissa laittaa päälle tietyt lisäosat. SDI on ammattimaisissa videotuotannoissa laajasti käytetty kompressoimaton videostandardi, joka kulkee yleensä koaksiaalikaapelia tai valokuitua pitkin. SDI-ulostulo tarvitaan, jotta renderöintikone voidaan yhdistää Ultimatte-väriavaintimeen, joka käyttää SDI-liitäntöjä kuvan reitittämiseen.

Unreal Engine -projektiin lisättiin virtuaalikamera, joka kalibroitiin vastaamaan fyysistä kameraa ja objektiivia täydellisesti. Virtuaalikamera asetettiin myös vastaanottamaan automaattisesti seurantadata oikeilta seurantalaitteilta. Projektitiedostoon tehtiin valmiit esiasetukset seurantalaitteiden yhdistämiselle ja SDI-ulostulolle. Lisäksi tallennettiin esiasetettu ikkunajärjestys, joka avaa kaikki virtuaalituotantoa varten tarvittavat välilehdet Unreal Enginen sisällä automaattisesti.

Laitteisto

Molempia tuotantolinjoja varten luotiin listat kaikista tarvittavista laitteista sekä tarvittavat kytkentäkaaviot, jotta virtuaalitudion rakentaminen ja purkaminen sujuisi mahdollisimman helposti. Pysyvän virtuaalitudion rakentaminen ei ollut mahdollista, koska samassa studiotilassa tehdään useita muita tuotantoja, jotka vaativat laitteiston ja green screen -taustojen purkamisen.

Unreal Engine -tuotannossa kameran ja Unreal Enginen kuvat tulevat erikseen SDI-liitännällä Ultimatte-väriavaintimeen, joka vaihtaa green screen -taustan tilalle renderöidyn virtuaaliympäristön (kuva 18).



Kuva 18. Videokuvan reititys virtuaalitudiossa.

Virtuaalitaustan lisäksi renderöintikoneelta lähtee Unreal Enginen renderöimä garbage matte -kuva. Garbage mattea käytetään kertomaan väriavaintimelle, mikä alue kuvasta on green screen -taustan ulkopuolista aluetta ja mitkä virtuaalimaailman objektit tulisi sijoittaa kuvattavan kohteen eteen (kuva 19).



Kuva 19. Unreal Enginellä tuotettu virtuaalitausta ja sitä vastaava garbage matte -maski.

Garbage matten renderöiminen Unreal Engineissä tapahtuu sijoittamalla virtuaaliympäristöön kuvattavan kohteen kohdalle karkeasti green screen - taustan kokoinen ja mallinen 3D-objekti, jolla on erityinen jälkikäsittelemateriaali. Sen ansiosta taustan 3D-malli näkyy garbage matte -ulostulossa, mutta ei virtuaalikameran kuvassa. Käytännössä väriavainnin siis leikkaa fyysisen kameran kuvasta garbage matten perusteella kokonaan pois green screen - taustan ulkopuolella olevat alueet sekä kohdat, joissa kuuluisi olla kohteen eteen sijoitettuja virtuaaliobjekteja.

Kuvan tarkkailemista ja tallentamista varten tarvitaan myös erilliset SDI-liitäntää tukevat laitteet. Tarkkaamoon sijoitettiin Blackmagic Design SmartView -näyttö väriavainnintamisen avuksi sekä lopullisen kuvan tarkkailemista varten. Nauhoittamista varten voidaan käyttää joko Atomos Shogun -tallenninmonitoria tai Blackmagic Design Atem -mikseriä. Lopullinen kuva reititetään myös studiotilassa sijaitsevalle suurelle näytölle SDI-liitännällä, jotta kuvaaja ja ohjaaja sekä muut mukana olevat henkilöt näkevät yhdistetyn kuvan reaaliajassa.

Aximmetry-tuotannossa ulkoinen väriavainnin ja tallennin voidaan korvata Aximmetryn sisäänrakennetuilla toiminnolla. Tarkkaamon erillinen SDI-monitori voidaan puolestaan korvata normaalilla tietokonenäytöllä. Kameran ja objektiivin seurantalaitteiden kytkentä on kuitenkin täysin sama molempien tuotantolinjojen kohdalla (kuva 20).

vältyttäisiin jäämästä jumiin etsimään tiettyjä nappuloita tai toimintoja ohjelmistosta. Sen sijaan videolta näkee suoraan, mistä kaikki toiminnot löytyvät. Ohjevideot jäsenneltiin useiksi muutaman minuutin pituisiksi paloiksi, jotta olisi helppo löytää se osa-alue tai toiminto, johon tarvitsee apua. Sekä Aximmetryä että Unreal Engineä varten tehtiin oma sarja ohjevideoita. Videoissa esitellään ensin ohjelmiston oleellimmat toiminnot ja käyttöliittymät. Sen jälkeen ohjeistetaan, miten virtuaalituotanto käynnistetään sekä miten mahdollisia oheislaitteita ja niiden ohjelmistoja käytetään. Lopuksi selitetään uuden virtuaaliympäristön lisääminen kumpaankin ohjelmistoon.

Jotta ohjevideoista saatiin tehtyä mahdollisimman laadukkaita, ohjeiden työstämisen ohessa tehtiin käyttäjätestausta, minkä pohjalta ohjeita muokattiin ja paranneltiin. Ennen videoiden nauhoittamista ohjeet laadittiin tekstimuodossa kuvankaappausten kera. Tekstimuotoisilla ohjeilla teetettiin alustava käyttäjätestaus, jossa asiakkaan työntekijä toteutti virtuaalitudiossa lyhyen testivideon ohjeiden avulla. Kokeilun aikana kirjoitettiin muistiin, mitkä kohdat vaativat muutosta tai tarkennusta. Kokeilun jälkeen käyttäjältä pyydettiin vielä tarkemmin palautetta ohjeista. Tekstimuotoisia ohjeita muokattiin annetun palautteen pohjalta, minkä jälkeen ohjeet syötettiin tekoälysovellukselle, joka muunsi tekstin puhuttuun muotoon. Ohjeissa läpikäytyt vaiheet toistettiin ja nauhoitettiin ruudunkaappauksella. Sekä ruudunkaappaukset että ääniraidat tuotiin videoeditointiohjelmistoon, jossa niistä leikattiin yhtenäiset ohjevideot. Videoihin lisättiin tarvittaessa myös merkintöjä ohjaamaan katsojan huomio oleellisiin kohtiin.

Ohjevideot saatiin juuri sopivaan aikaan valmiiksi, sillä hieman niiden valmistumisen jälkeen virtuaalitudiolla oli tarkoitus toteuttaa asiakaskuvaus. Tarkoituksena oli kuvata The Game Development World Championship -kisalle (GDWC) puhuva pää -tyyppinen video videopelimäisessä virtuaaliympäristössä (kuva 21).



Kuva 21. Virtuaalitudiolla toteutettu video GDWC:lle.

Projekti oli juuri sopiva ympäristö ohjevideoiden kokeilemiselle käytännössä. Samalle asiakkaalle oli toteutettu vastaavanlainen video jo edellisenä vuonna käyttäen samaa virtuaaliympäristöä. Ympäristön valmistelua ja muokkausta ei siis tarvinnut tehdä, sillä vanha virtuaaliympäristö oli vielä tallella. Virtuaalitudio valmisteltiin muutamaa päivää ennen kuvauksia ohjevideoiden avulla. Ohjeita seurattaessa kirjoitettiin muistiin parannuskohteita ja kerättiin yleistä palautetta videoista.

Kuvaus tehtiin Aximmetry-ohjelmistossa, koska videon alkuun ja loppuun haluttiin tehdä virtuaalinen kamera-ajo. Virtuaalikamera-ajo on Aximmetryn ominaisuus, jossa staattisen kameran kuva renderöidään virtuaalimaailman sisällä 2D-pinnalle ja kamera-ajo tehdään pelkän virtuaalikameran liikkeellä. Virtuaalisia kamera-ajoja tehdessä virtuaalikameran perspektiivi ei kuitenkaan saa poiketa suuresti fyysisen kameran perspektiivistä vääristymien välttämiseksi. Kyseisessä videossa tehtiin kuitenkin vain edestakainen liike kauempaa lähemmäs ja päinvastoin, jolloin virtuaalikameran perspektiivi pysyi tarpeeksi lähellä fyysisen kameran perspektiiviä.

5 Työn tulokset

Insinööriyön tuloksena saatiin kehitettyä selkeät tuotantolinjat, joiden ansiosta asiakkaan virtuaalitudiota voidaan hyödyntää helpommin videotuotannoissa. Kaikkien laitteiden ja ohjelmistojen hyväksi todetut parametrit tallennettiin esiasetuksiksi. Mikäli virtuaalitudion laitteisto on valmiiksi paikoillaan, tuotannon aloittaminen vaatii käytännössä ainoastaan virran kytkemisen laitteisiin ja tarvittavien ohjelmistojen avaamisen renderöntikoneella, mikä tapahtuu helposti yhden pikakuvakkeella. Virtuaaliympäristön vaihtaminen tapahtuu helposti parilla painalluksella yhden Unreal Engine- tai Aximmetry-projektin sisällä. Tarvittaessa virtuaalitudion purkaminen ja uudelleen rakentaminen onnistuvat kuitenkin nopeasti. Ohjevideoissa ja kaavioissa selitetään tarvittavat laitteistot ja kytkennät mahdollisimman selkeästi, jotta tuotannon valmistelu sujuisi vaivattomasti, eikä työvaiheita tarvitse välttämättä muistaa ulkoa.

5.1 Manuaalisten säätöjen tarve

Käytännössä ainoat säädöt, jotka ennen tuotantoa täytyy tehdä, on kuva- ja seurantasignaalien viiveiden hienosäätö sekä halutun resoluution ja kuvataajuuden asettaminen laitteisiin ja virtuaalituotanto-ohjelmistoon. Kameranseurantaa käytettäessä on erittäin tärkeää, että signaalien viiveet on säädetty oikein. Useimmissa tilanteissa kameralta tuleva videosignaali on noin yhden tai kahden kuvaruudun verran edellä renderöntikoneen tuottamaan videosignaaliin verrattuna. Vaikka virtuaaliympäristön laskeminen tehdäänkin reaaliajassa, virtuaaliympäristön laskemiseen kuluu silti pidempi aika verrattuna kameran kuvan saapumiseen. Kuvasignaalien välinen viive vaihtelee muun muassa valitun kuvataajuuden sekä renderöitävän virtuaaliympäristön kuormittavuuden mukaan, koska ne vaikuttavat suoraan renderöintiin kuluvaan aikaan.

Kuvasignaalien synkronointiin on olemassa elokuva- ja TV-alalla laajalti käytetty tekniikka nimeltä genlock (generator locking). Genlock-tekniikan toiminta

perustuu käytännössä siihen, että yksittäinen signaaligeneraattori lähettää kaikille laitteille pulssimaista signaalia, johon jokainen laite synkronoi oman kuvataajuutensa. Näin ollen varmistetaan, että jokaisen signaalin kuvaruudut lähtevät täsmälleen samalla ajoituksella. Asiakkaalla käytössä olevat Sony FX6 -kamerat eivät kuitenkaan tue genlock-tekniikkaa, joten kuvasignaalien automaattinen synkronointi ei ole mahdollista. Sen sijaan synkronointi täytyy tehdä säätämällä viive manuaalisesti. Viive on kuitenkin yleensä vain yhden tai kahden kuvaruudun verran, joten oikea arvo on helppo määrittellä.

Mikäli virtuaalituotannossa halutaan käyttää sekä kameran sijainnin että objektiivin seurantaa, myös seurantalaitteiden välinen viive täytyy hienosäätää mahdollisimman pieneksi. Sony FX6 -kameroiden kanssa asiakkaalla on yleensä käytössä Sonyn power zoom -ominaisuudella varustetut objektiivit, mikä tarkoittaa, että objektiivin ulkokehällä oleva säätörengas ohjaa polttoväliä elektronisesti. Elektroninen power zoom -ohjaus aiheuttaa pienen viiveen säätörengaan liikuttamisen ja linssielementtien liikkumisen välille. Siitä syystä koodereiden viive tulisi olla suurempi kuin kameran sijaintianturilla. Genlock-tekniikan puutteen takia seurantalaitteiden välinen viive ei kuitenkaan ole välttämättä aina täysin sama, joten viiveet täytyy säätää ennen kuvausten aloittamista. Asiakkaan kameranseurantajärjestelmän valmistaja Antilatency on kehittämässä laitetta, joka yhdistää sekä kameran että objektiivin seurannan samaan genlock-synkronoituun signaaliin. Sekä seurantadatan että kuvasignaalien synkronoiminen genlock-tekniikalla voisi olla seuraava askel virtuaalituotannon helpottamiseksi, mutta se vaatisi kameran vaihtamisen genlock-tekniikalla varustettuun malliin. Lisäksi kytkentöjen ja kaapelivetojen määrä kasvaisi huomattavasti, minkä takia genlock-tekniikan käyttöönotto ei olisi kovin yksinkertaista.

5.2 Erikoisosaamisen tarve

Vaikka virtuaalituotannon prosessia pystyttiin yksinkertaistamaan huomattavasti insinööriyön aikana, erikoisosaamisen tarvetta ei voida kokonaan poistaa. Varsinkin erilaisten ongelmatilanteiden ratkaisemiseen vaaditaan edelleen

ymmärrystä taustalla olevista teknologioista kuten pelimoottoreiden toiminnasta ja 3D-renderöinnistä. Vaikka insinööriyön osana toteutetuissa ohjeissa käydään läpi yleisimmät ongelmatilanteet ja niiden ratkaisut, kaikkia mahdollisia ongelmia on mahdotonta sisällyttää ohjeisiin. Virtuaalituotanto on ainakin vielä tällä hetkellä luonteeltaan monimutkainen prosessi, jossa yhdistetään lukuisia eri teknologioita ja tarvitaan osaamista monilta täysin erilaisilta aloilta.

Insinööriyön asiakas on erikoistunut videotuotantojen tekemiseen, minkä takia esimerkiksi pelimoottoreiden käyttäminen voi tuntua vieraalta ja haastavalta. Esimerkiksi erilaisten 3D-renderöintiin liittyvien ongelmien ratkaisu voi tuntua lähes mahdottomalta ilman syvällistä ymmärrystä käytettävän pelimoottorin teknologiasta ja toimintaperiaatteista. Renderöinnin aiheuttamat virheet kuvassa ovat yleisiä, koska pelimoottorit joutuvat tekemään useita kompromisseja renderöinnin tarkkuuden osalta, jotta renderöinti voidaan tehdä tarpeeksi tehokkaasti reaaliaikaisia käyttötarkoituksia varten. Videopeleissä – joihin pelimoottorit ovat pääasiassa kehitetty – renderöinnin virheet ovat yleisesti hyväksyttävämpiä, sillä pelaajat valitsevat yleensä suuremman kuvataajuuden sekä pienemmän viiveen mieluummin kuin täydellisen kuvanlaadun.

Myös virtuaaliympäristöjen ja 3D-objektien muokkaaminen virtuaalituotantoon sopiviksi tai jopa kokonaisen virtuaaliympäristön luominen alusta asti ovat työvaiheita, joihin edelleen tarvitaan erikoisosaamista videotuotannon ulkopuolelta. Tällä hetkellä virtuaalituotantoon suoraan soveltuvia ympäristöjä ja 3D-malleja on hyvin vähän saatavilla, joten manuaalinen muokkaaminen on lähes välttämätöntä. Toinen vaihtoehto on tehdä virtuaaliympäristö täysin alusta lähtien, mutta se vaatii joko siihen erikoistuneiden henkilöiden palkkaamista tai ympäristön tilaamista toiselta yritykseltä mittatilaustyönä.

6 Yhteenveto

Virtuaalituotanto tuo mukanaan monia uusia ja kiehtovia mahdollisuuksia videotuotantoihin. Se tehostaa varsinkin suurten tuotantojen kulkua merkittävästi, sillä tuotantovaiheet ovat vähemmän riippuvaisia toisistaan ja eri

vaiheita voidaan jopa tehdä samanaikaisesti. Virtuaalituotanto mahdollistaa ketterän iterointiprosessin esituotantovaiheessa, mikä auttaa tuotantoryhmää tekemään tärkeitä päätöksiä tuotannon alkuvaiheessa, jolloin muutosten tekeminen on vielä suhteellisen edullista. Jälkituotantoon kohdistuva rahallinen ja aikataulullinen paine laskee, ja jälkituotannon rooli yleisestikin vähenee, sillä perinteisen jälkituotannon työtehtävät jakautuvat virtuaalituotannossa tasaisemmin pitkin tuotantoprosessia. Toisaalta virtuaalituotannossa joudutaan sijoittamaan enemmän rahaa tuotannon alkuvaiheeseen, koska 3D-mallien ja virtuaaliympäristöjen rakentaminen on aloitettava heti tuotannon alussa.

Pienille toimijoille virtuaalituotanto mahdollistaa ennen kaikkea näyttävät lavasteet sekä studion mukauttamisen helposti lukuisiin eri käyttötarkoituksiin. Pienten tuotantojen kohdalla on kuitenkin mietittävä tarkkaan, missä tuotannoissa virtuaalitudiota on järkevää käyttää, koska virtuaalituotannon rajoitteet korostuvat etenkin budjetin ollessa rajallinen. Monien projektien kohdalla virtuaalituotanto voi nostaa tuotannon laatua merkittävästi pienelläkin vaivalla, mutta joissain tuotannoissa virtuaalitudion käyttäminen voi tehdä tuotannosta kohtuuttoman monimutkaisen ja aikaa vievän verrattuna saatavaan hyötyyn.

Insinööriyössä toteutettujen tuotantolinjojen ansiosta asiakas pystyy hyödyntämään virtuaalitudiota pienellä vaivalla virtuaalituotantojen toteuttamiseen. Virtuaalitudion rakentaminen ja käyttö saatiin tehtyä tarpeeksi yksinkertaiseksi, jotta virtuaalituotantoon perehtymätönkin henkilö voi toteuttaa yksinkertaisia virtuaalituotantoja. Virtuaalituotantoon kuitenkin liittyy edelleen hyvin paljon monimutkaisia tekijöitä, minkä takia mahdollisten ongelmatilanteiden selvittäminen on ensikertalaiselle hyvin hankalaa. Ongelmanratkaisu kuitenkin helpottuu sitä mukaa, mitä enemmän virtuaalituotantoja tehdään ja mitä enemmän kokemusta kertyy.

Valmiiden virtuaalituotantoon sopivien virtuaaliympäristöjen löytäminen osoittautui yllättävän hankalaksi. Tällä hetkellä käytännössä ainoat vaihtoehdot ovat rakentaa virtuaaliympäristö itse tai muokata johonkin toiseen

käyttötarkoitukseen tehtyä ympäristöä virtuaalituotantoon sopivaksi. Ongelmaksi tulee kuitenkin, että valmiit 3D-mallit ja ympäristöt ovat yleensä joko liian pelimäisiä virtuaalituotannossa käytettäviksi tai liian raskaita renderöitäviksi reaaliajassa. Juuri sopivaa välimaastoa voi olla hankala löytää.

Jatkokehityksen kohteena voisi olla kehittää tuotantolinjoihin vaihtoehto otosten renderöimiseksi jälkituotannossa, jotta voitaisiin hyödyntää myös sellaisia virtuaaliympäristöjä, joiden renderöinti ei ole mahdollista täysin reaaliajassa. Tällöin voitaisiin käyttää vielä yksityiskohtaisempia ja realistisempia virtuaaliympäristöjä, mikä nostaisi virtuaalituotantojen laatua merkittävästi. Jälkituotanto tietysti lisäisi jonkin verran työmäärää, mutta mikäli tuotanto olisi suunniteltu hyvin, otosten renderöiminen jälkikäteen pitäisi olla pitkälti automatisoitavissa.

Jatkossa olisi myös hyvä tarkastella mahdollisuuksia genlock-tekniikan käyttämiseksi signaalien synkronoimiseksi. Genlock-tekniikan käyttöönottaminen vaatisi kuitenkin muun muassa uuden kameran tai kameroiden hankkimisen. Monet kameravalmistajat ovat ottaneet uusissa kameramalleissaan virtuaalituotannon paremmin huomioon lisäten esimerkiksi FIZ-datan ja genlock-signaalin kulkemisen sisään ja ulos käyttäen IP-protokollaa, mikä vähentää huomattavasti tarvittavien kytkentöjen määrää ja yksinkertaistaa signaalinkulkua. Genlock-tekniikan lisäksi voisi tutkia mahdollisuutta yhdistää Unreal Engine studiotilan DMX (Digital MultipleX) -valaistusverkkoon, mikä mahdollistaisi studiovalojen reagoimisen virtuaaliympäristössä tapahtuviin muutoksiin. Näin säästyttäisiin mahdollisesti valojen manuaaliselta säätämiseltä virtuaaliympäristöä vaihtaessa.

Lähteet

Alt. Verkkoaineisto. Antilatency.

<https://developers.antilatency.com/Hardware/Alt_en.html>. Luettu 11.3.2025.

An, D. 2022. Technology-driven Virtual Production: The Advantages and New Applications of Game Engines in the Film Industry. *Revista FAMECOS*. Vol 29 (1), s. 1–13.

Baver, Kristin. 2020. This is the Way: How Innovative Technology Immersed Us in the World of The Mandalorian. Verkkoaineisto. Lucasfilm.

<<https://www.starwars.com/news/the-mandalorian-stagecraft-feature>>.

15.5.2020. Luettu 28.3.2025.

Boutellier, A. & Raptis, P. 2023. Teaching virtual production: the challenges of developing a formal curriculum. *Film Education Journal*. Vol. 6 (2), s. 69–81.

Baril, Patrick. 2023. Open-sourcing of Unity Virtual Production tools.

Verkkoaineisto. Unity. <<https://discussions.unity.com/t/open-sourcing-of-unity-virtual-production-tools/935579>>. 13.12.2023. Luettu 26.3.2025.

Daniel, Silva Jasai; Martí-Testón, Ana; Muñoz, Adolfo; Moriniello, Flavio;

Solanes, J Ernesto & Gracia, Luis. 2024. Virtual Production: Real-Time

Rendering Pipelines for Indie Studios and the Potential in Different Scenarios.

Applied sciences. Vol 14 (6), s. 2530.

Did you know that 60% of game developers use game engines? 2022.

Verkkoaineisto. SlashData. <<https://www.slashdata.co/post/did-you-know-that-60-of-game-developers-use-game-engines>>. Päivitetty 25.10.2024. Luettu

26.3.2025.

Dinur, E. 2023. *The Filmmaker's Guide to Visual Effects*, 2nd Edition. New York: Routledge.

In-Camera VFX Overview. Verkkoaineisto. Epic Games.

<<https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/in-camera-vfx-overview-in-unreal-engine>>. Luettu 31.3.2025.

Introducing OCELLUS Camera Tracking System. Verkkoaineisto. Sony.

<<https://sonycine.com/sony-electronics-introduces-ocellus-a-new-camera-tracking-system-for-the-creation-of-spatial-content-in-augmented-reality-and-virtual-production/>>.

18.3.2025. Luettu 2.4.2025.

James Cameron - Performance Capture re-invented. Verkkoaineisto. Motion Capture Society.

<<http://www.motioncapturesociety.com/resources/articles/miscellaneous-articles/84-james-cameron-performance-capture-re-invented>>. Luettu 26.3.2025.

Kander, Noah. 2019. The Virtual Production Field Guide Volume 1. Verkkoaineisto. Epic Games. <<https://cdn2.unrealengine.com/VP-Field-Guide-Vol-1-and-2.pdf>>. Luettu 28.3.2025.

Kander, Noah. 2021. The Virtual Production Field Guide Volume 2. Verkkoaineisto. Epic Games. <<https://cdn2.unrealengine.com/VP-Field-Guide-Vol-1-and-2.pdf>>. Luettu 25.3.2025.

Oakden, Tony & Manolya, Kavakli. 2022. Performance Analysis of RTX Architecture in Virtual Production and Graphics Processing. Teoksessa 2022 IEEE 42nd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCSW), s. 215–220. Bologna: IEEE.

OptiTrack for Virtual Production. Verkkoaineisto. OptiTrack. <<https://www.optitrack.com/applications/virtual-production/>>. Luettu 2.4.2025.

Rosenbaum, Stephen. Avatar Virtual Production. Verkkoaineisto. <<https://www.stephenrosenbaum.net/project/avatar>>. Luettu 2.4.2025.

Serpa, Yvens Rebouças & Rodrigues, Maria Andréia Formico. 2019. A draw call-oriented approach for visibility of static and dynamic scenes with large number of triangles. The Visual computer. Vol 35 (4), s. 549–563.

The Mandalorian LED Wall: Ultimate Introduction is Here! 2023. Verkkoaineisto. UNIT LED. <<https://www.unit-led.com/mandalorian-led-wall>>. 21.9.2023. Luettu 31.3.2025.

Virtual Production Market Size, Share & Trends Analysis Report By Component (Hardware, Software, Services), By Type, By End-user, By Region, And Segment Forecasts, 2024 – 2030. 2024. Verkkoaineisto. Grand View Research. <<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/virtual-production-market#>>. Luettu 25.3.2025.

VIVE Mars CamTrack. Verkkoaineisto. HTC. <<https://www.mars.vive.com/>>. Luettu 2.4.2025.

What is Aximmetry Eye and How to Use it? 2024. Verkkoaineisto. Aximmetry. <<https://aximmetry.com/learn/virtual-production-workflow/starting-with-aximmetry/aximmetry-eye/what-is-aximmetry-eye-and-how-to-use-it/>>. 1.10.2024. Luettu 26.3.2025.

What is virtual production? Verkkoaineisto. Epic Games.
<<https://www.unrealengine.com/en-US/explainers/virtual-production/what-is-virtual-production>>. Luettu 31.3.2025.

Zwerman, Susan & Okun Jeffrey A. 2024. The VES Handbook of Virtual Production. New York: Routledge.