



Risto Haapalainen

3D-mallintaminen ja työdokumentointi esitystekniikan suunnittelussa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Medianomi (AMK)

Esitys- ja teatteritekniikka

Opinnäytetyö

10.06.2024

Tiivistelmä

Tekijä(t):	Risto Haapalainen
Otsikko:	3D-mallintaminen ja työdokumentointi esitystekniikan suunnittelussa
Sivumäärä:	41 sivua
Aika:	10.6.2024
Tutkinto:	Medianomi (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Esitys- ja teatteritekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto:	Esitys- ja teatteritekniikka
Ohjaaja(t):	Lehtori Mikko Pirinen

Esitystekniikan työdokumentointia ja tietokoneavusteista mallintamista tehdään laajasti tapahtuma-alalla. Alan tarpeisiin löytyvä tieto dokumentoinnin laatimisesta ja mallintamisesta on pirstaloitunutta useisiin eri lähteisiin, mikä vaikeuttaa tiedon löytämistä ja aiheen opiskelua.

Opinnäytteen tarkoituksena on koota yhteen ja luoda uutta tietoa esitystekniikan 3D-mallintamisesta sekä työdokumentoinnin laatimisesta. Työn tietopohja on laadittu ilman yksittäisiin ohjelmistoihin keskittymistä, jotta sitä voidaan hyödyntää laajemmin eri ohjelmistoympäristöissä. Työssä esiteltävät projektit ovat käytännönläheisiä esimerkkejä työskentelystä mallintamisen ja työdokumentoinnin parissa.

Työ reflektoi tietopohjan teorian ja käytännön projektien välillä sekä kokoaa loppuun kirjoittajan analyysin 3D-mallintamisesta ja työdokumentoinnista esitystekniikan suunnittelussa. Opinnäyte tuo esiin tuloksissaan teorian ja käytännön työn hetkittäisiä riittäisyyksiä työdokumentoinnissa. Samalla se antaa tietoa käytännön mallinnustyöhön ottaen huomioon esitystekniikan ja tapahtuma-alan tarpeet.

Avainsanat: CAD, 3D-mallintaminen, esitystekniikka

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author(s):	Risto Haapalainen
Title:	3D Modeling and Documentation in Performance Technology Design
Number of Pages:	41 pages
Date:	10 Jun 2024
Degree:	Bachelor of Culture and Arts
Degree Programme:	Live Performance Engineering
Specialisation option:	Performance and Theater Technology
Instructor(s):	Mikko Pirinen, Senior Lecturer

Computer-aided modeling and documentation of performance technology is widely used in the event industry. Information on documentation and 3D-modeling for the industry is scattered across various sources, making it difficult to find information and study the subject.

The aim of this thesis is to synthesize and generate new insights about 3D-modeling in event technology and documentation. The theoretical framework of the thesis has been created without focusing on any specific software, in order to allow a broader use of this thesis in different environments. The projects presented in the thesis are practical examples of working with modeling and documentation.

The thesis consists of a knowledge base, practical projects and a final analysis. The theoretical part of the knowledge base is reflected through practical projects. Finally, the thesis analyses what should be considered in 3D modelling and work documentation when designing presentation technology.

The result of the thesis highlights the current discrepancies between theory and practice in documentation. At the same time, it provides information for practical modeling work, taking into account the needs of the presentation technology and event industry.

Keywords:	CAD, 3D-modeling, performance technology, entertainment technology
-----------	--

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Mallintaminen	2
2.1	Polygonimalli	4
2.2	NURBS	5
2.3	Subdivision surface	7
2.4	Teksturointi	8
2.5	Renderöinti	9
3	Työdokumentointi	11
3.1	Dokumentoinnin järjestys	12
3.2	Mittakaava	13
3.3	Mitat	13
3.4	Viivapaksuudet	14
3.5	Tekstikentät	14
3.6	Symboliavain ja valaisinmerkinnät	15
3.7	Otsikkoikkuna	16
4	Ohjelmistoja	17
4.1	Vectorworks Spotlight	18
4.2	Capture	18
4.3	Twinmotion	19
5	Tiedostomuodot	19
5.1	DWG	19
5.2	MVR	20
5.3	Unreal Datasmith	20
5.4	PDF	20
6	Projektien kuvaus	21
6.1	Heineken Polar Bar	21
6.1.1	Mallintaminen	22
6.1.2	Renderöinti	23
6.1.3	Dokumentointi	25

6.1.4	Mallintamisen ja dokumentoinnin onnistuminen	27
6.2	Sateenkaarilava Ruisrock 2023	28
6.2.1	Mallintaminen ja suunnittelu	29
6.2.2	Työdokumentointi	30
6.2.3	Renderöinti	32
6.2.4	Mallintamisen ja dokumentoinnin onnistuminen	33
6.3	Analyysi	34
7	Lopuksi	36
	Lähteet	39

LYHENTEET JA KÄSITTEET

2D two-dimensional (kaksiulotteinen)

3D three-dimensional (kolmiulotteinen)

CAD Computer Aided Design (tietokoneavusteinen suunnittelu)

Plugin, ohjelmiston lisäosa

Import, toiminto, jolla tuodaan ulkoisia toisen ohjelman tiedostoja tai resursseja mallinnusohjelmaan

Export, toiminto, jolla viedään tiedosto ulkoiseen tiedostomuotoon mallinnusohjelmasta

Mallintaminen tarkoittaa tässä työssä tietokoneella tehtyä 2D- tai 3D-mallia tai mallin osaa.

Layer CAD-ohjelmistoissa yleinen tapa jaotella asioita eri ryhmiin.

Työdokumentti tarkoittaa tässä työssä esitystekniikan toteutukseen tarkoitettuja dokumentteja, joiden avulla esitystekniikan ja tuotantojen kokonaisuudet rakennetaan.

1 Johdanto

Esitystekniikan työdokumentointi ja 3D-mallintaminen ovat osa esitystekniikan jokapäiväistä työtä. Pienimmistään esitystekniikan järjestelmistä on tehtävä jokin dokumentointi, jos sen rakentaa joku muu kuin järjestelmän suunnittelija. Tällöinkin jonkinlaiset muistiinpanot esimerkiksi ranskalaisina viivoina ruutupaperille voivat olla tarpeen. Mikäli samalle paperille hahmottelee esimerkiksi trussiportin kuvan, josta ilmenee mistä paloista portti rakennetaan, ollaan jo vahvasti työdokumentoinnin puolella.

Vaikka luemme päivittäin erilaisia dokumentteja, joiden perusteella rakennamme esitystekniikan monimutkaisia järjestelmiä, osaamme melko huonosti sanoittaa, millainen hyvä työdokumentti on. Hyvät ja selkeät dokumentit, joissa on kaikki oleellinen muttei mitään turhaa, on usein vastaus, kun kysytään, mitä dokumentoinnissa tulisi olla. Tämä vastaus jättää kuitenkin avoimeksi sen, millaisen dokumentoinnin avulla työskentely onnistuu sujuvasti, tehokkaasta ja suoraviivaisesti.

Motivaationi aiheen valintaan tuli työstäni esitystekniikan suunnittelun parissa. Halusin tehdä opinnäytetyön, josta saisi perustietoa 3D-mallintamisen teoriasta ilman yksittäiseen ohjelmistoon sitoutumista sekä ohjeita työdokumentoinnin laatimiseen käytännön työssä.

Työn tutkimuskysymys on, mitä 3D-mallintamisessa ja työdokumentoinnissa tulisi huomioida esitystekniikan suunnittelussa. Opinnäyte kokoaa tietoa 3D-mallintamisesta sekä työdokumentoinnin laatimisesta. Materiaalia voi hyödyntää tietolähteenä ja opetusmateriaalina. Työ on suunnattu esitystekniikan parissa työskenteleville ja opiskeleville lukijoille.

Opinnäytteen tietopohjan alussa käsitellään mallintamisen peruselementtejä yksinkertaisten mallien luomista sekä teoriaa teksturoinnin ja renderöinnin taustalla. Toinen osuus käsittelee työdokumentoinnin ohjeistuksia ja luettavuutta.

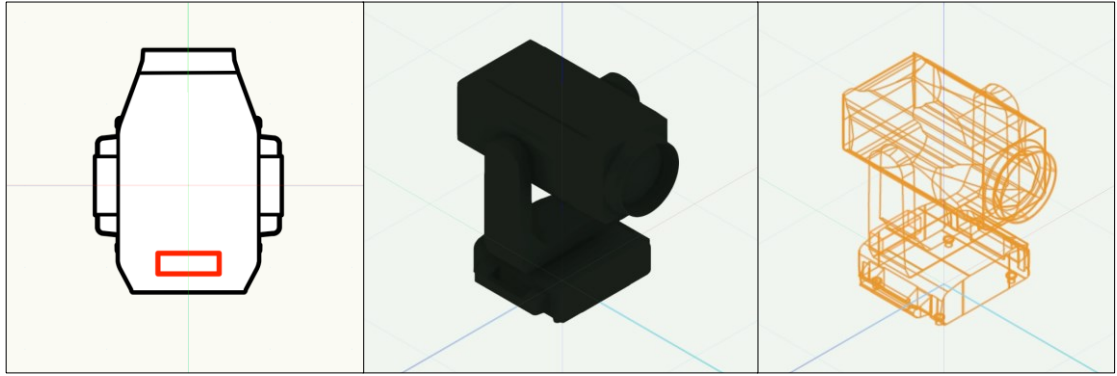
Tietopohjan lopussa esitellään yleisesti ohjelmistoja, joita on käytetty opinnäytteen projektien mallintamisessa.

Projektiosuudessa käsitellään kaksi eri suunnittelutyötä, joissa on hyödynnetty 3D-mallintamista työdokumentoinnin laatimisessa. Osiossa esitellään projektien mallinnustyötä sekä työdokumentoinnin onnistumista. Työn lopussa analysoidaan projektien kautta, miten 3D-mallintamisen teoria toimii käytännössä ja miten työdokumentoinnin ohjeistusta voi noudattaa.

2 Mallintaminen

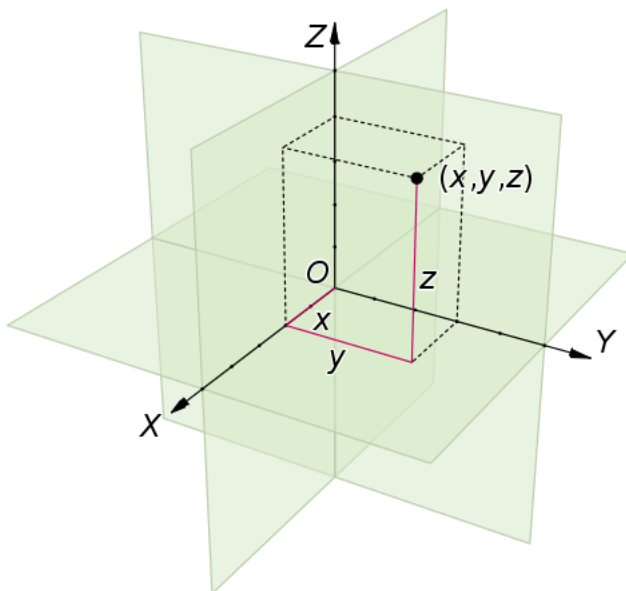
3D-mallintaminen on suunnittelutyökalu, jonka avulla esitystekniikassa voidaan esitellä suunnitelmia, esiohjelmoida valoja sekä tehdä teknistä suunnittelua. Valosuunnittelussa mallintamista hyödynnetään ideoiden esittelyyn muulle työryhmälle sekä valaistuksen esiohjelmointiin. Mallintaminen mahdollistaa suunnittelu- ja ennakkotyön ilman varsinaisen toteutuksen rakentamista kokonaisuudessaan. Esimerkiksi lavastuksen ja valaistuksen keskinäistä toimivuutta voidaan kokeilla virtuaalisesti 3D-mallin avulla. (Saviranta 2018, 5; Sirainen 2022, 26.)

Mallintamista hyödynnetään teknisessä suunnittelussa laajasti. Valokartat, rakennepiirustukset, ripustuskuvat, kaapelireitit, ohjauskanava- ja kytkentälistat tehdään usein 3D-ohjelmistoilla. Mallintaminen on myös tehokas työkalu tilan hahmottamiseen. Sen avulla voidaan hahmottaa vapaat näkölinjat ja miten asiat mahtuvat paikoilleen. 3D-mallintaminen mahdollistaa tämän tarkastelun myös korkeussuunnassa, joka ei ole pelkässä 2D-mallissa mahdollista. (Pellikka 2019, 6; Siren 2019, 33.)



Kuva 1. Valaisimen 2D-malli ja 3D-malli.

Tietokoneavusteinen mallintaminen, eli CAD-mallintaminen, voidaan jakaa 2D- ja 3D-mallintamiseen. 2D-mallissa on nimensä mukaisesti kaksiulotteinen malli, jolla ei ole syvyyttä. Kaksiulotteinen mallinnus on yksinkertaisin tapa mallintaa tietokoneilla, ja sillä voidaan luoda esimerkiksi pohjakarttoja. 3D-mallintaminen tuo mukaan kolmannen ulottuvuuden, mikä mahdollistaa kolmiulotteisen mallin tekemisen. Tämän avulla voidaan luoda realistinen malli, koska malliin voidaan määrittää kaikki kolme ulottuvuutta syvyys, leveys ja korkeus. (Take-off Professional 2023.)



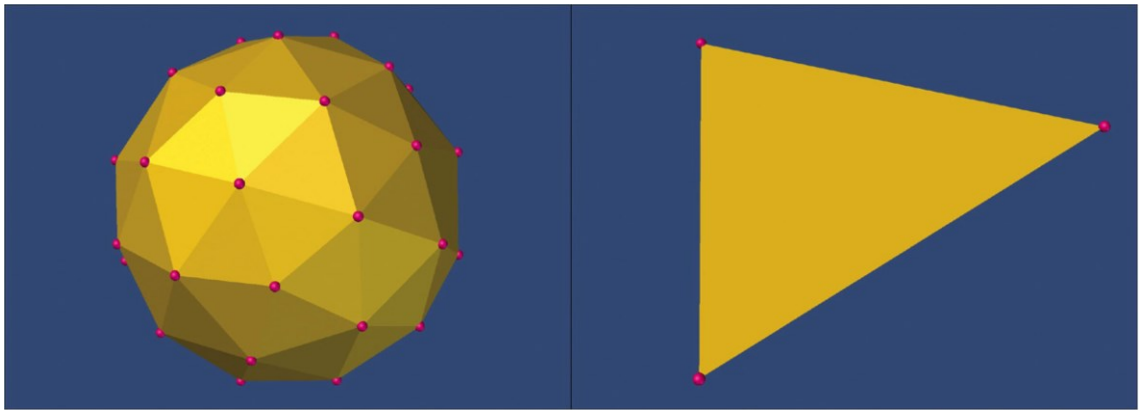
Kuva 2. X-, Y-, Z-koordinaatisto (Wikipedia 2024a).

CAD-ohjelmistoissa mallin sijainti ja suunta määritetään X-, Y-, Z-koordinaattien avulla. Koordinaatistoja on käytössä kahta erilaista vasemman käden- sekä oikean käden koordinaatisto. Oikean käden koordinaatistossa X-arvo on sijainti leveyssuunnassa, Y-arvo syvyysuunnassa ja Z-arvo on korkeus. Vasemman käden koordinaatistossa X-arvo on sijainti leveyssuunnassa, Z-arvo sijainti syvyysuunnassa ja Y-arvo sijainti korkeussuunnassa. X-0, Z-0 ja Y-0 sijainti on origo, joka on mallinnusohjelmien kolmiulotteisen avaruuden keskikohta. (Burul 2022; Worldviz 2023.)

Digitaalinen mallintaminen on prosessi, jossa luodaan matemaattinen esitys kolmiulotteisesta muodosta. Tämän prosessin tuloksia nimitetään yleisesti 3D-malleiksi, joita voidaan luoda automatisoidusti tai manuaalisesti. Yleisimmät tavat luoda malleja on käyttää 3D-ohjelmistoja sekä skannata reaaliaikaisessa oleva esine tai tila tietokoneelle tähän tarkoitettuun laitteistolla. Mallintaminen voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin, joita ovat polygonimallit, NURBS-pinnat sekä subdivision-pinnat. (Vaughan 2011, luku 1.)

2.1 Polygonimalli

Esitystekniikan suunnittelussa tarvittavista malleista suurin osa löytyy CAD-ohjelmistojen kirjastoista. Lavasteiden, kalusteiden tai tilan mallintamisen kohdalla näin on harvoin, minkä takia perustason mallinnustyökaluja tarvitaan säännöllisesti esitystekniikan suunnittelussa. Yksinkertaisilla polygonimaleilla pärjätään varsin pitkälle, ja näiden parissa työskentely on yleensä erittäin tehokasta.



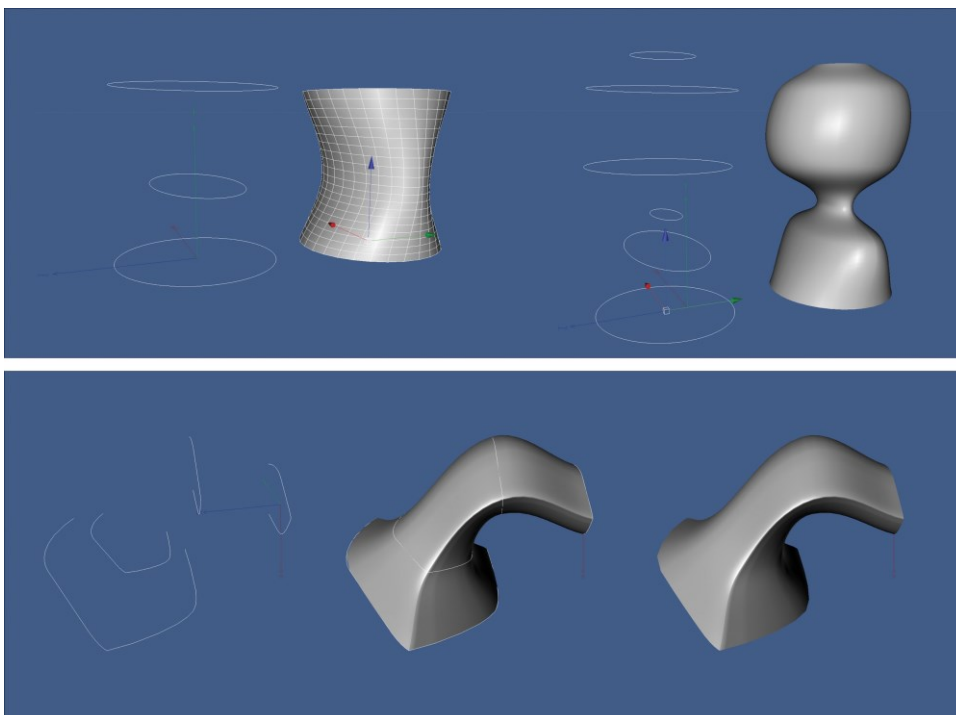
Kuva 3. Yksinkertainen polygonikolmio oikealla ja vasemmalla polygoneilla luotu verkkomalli (Vaughan 2011, luku 4).

Polygonimalli on perinteisimpiä tapoja mallintaa yksinkertaisia muotoja. Malli koostuu pisteistä, reunoista ja monikulmiosta. Piste on yksinkertaisin komponentti 3D-mallintamisessa. Jokaisella pisteellä on X-, Y- ja Z-koordinaatin arvo 3D-avaruudessa. Pisteillä ei ole leveyttä, korkeutta eikä syvyyttä, minkä takia niitä yksinään ei voida renderöidä. Reuna on käytännössä yksiulotteinen viiva polygonin pisteiden välillä, joka muodostaa yhden polygonin reunoista. Esimerkiksi kolmion mallisessa polygonissa on kolme pistettä, kolme reunaa ja yksi pinta. (Vaughan 2011, luku 4.)

Kun yhdistetään kaksi pistettä, saadaan viiva. Kolme yhdistettyä pistettä voi muodostaa kulmat mallin pinnalle, ja tätä mallia kutsutaan polygonimalliksi. Useat polygonit voivat jakaa samoja pisteitä, jos niitä käytetään yhtenäisessä verkkomallissa. Polygonimalli muodostuu lukuisista pisteistä, jotka määrittelevät 3D-objektin pinnan. (Vaughan 2011, luku 4.)

2.2 NURBS

Polygonimallit ovat tehokkaita yksinkertaisten mallien luomisessa, mutta orgaanisten muotojen kanssa niiden rajat tulevat nopeasti vastaan. NURBS on tehokas työkalu esimerkiksi laskoksilla olevan verhon geometrian mallintamiseen.



Kuva 4. Kolme erilaista NURBS-mallia, joiden vasemmalla puolella on splinet, joilla mallin muotoa hallitaan. (Vaughan 2011, luku 4.)

Non-Uniform Rational B-splines -surface, lyhennettynä NURBS, on erittäin tehokas tapa mallintaa orgaanisia monimutkaisia muotoja yksinkertaisella hallittavuudella (Vaughan 2011, luku 4). NURBS:n peruskomponentteja ovat rationaalinen Benzierin käyrä ja ei-uniformisti määritelty solmuverkosto. NURBS on kehitetty autojen mallintamiseen 1950-luvulla, mistä se on tullut tämän päivän 3D-mallintamiseen. (Allen 2021, 173.)

NURBS-objektit ovat onttoja geometrisia tasoja 3D-avaruudessa, joiden muodot voivat olla myös kaarevia (Allen 2021, 173). Mallilla on sileä verkkomainen pinta, joka muodostuu sarjasta yhdistettyjä splinejä, jotka ovat polynomisia käyriä. Malli muunnetaan polygoneiksi renderöintivaiheessa. (Vaughan 2011, luku 4.)

Non-Uniform viittaa Vauhganin mukaan parametrisoituun käyrään, joka mahdollistaa esimerkiksi monisolmut, joita tarvitaan Bezier-käyrien esittämiseen. Rational tulee taustalla olevasta matemaattisesta esitystavasta, joka mahdollistaa NURBS-käyrien esittämisen vapaamuotoisina käyrinä tarkan tasogeometrian

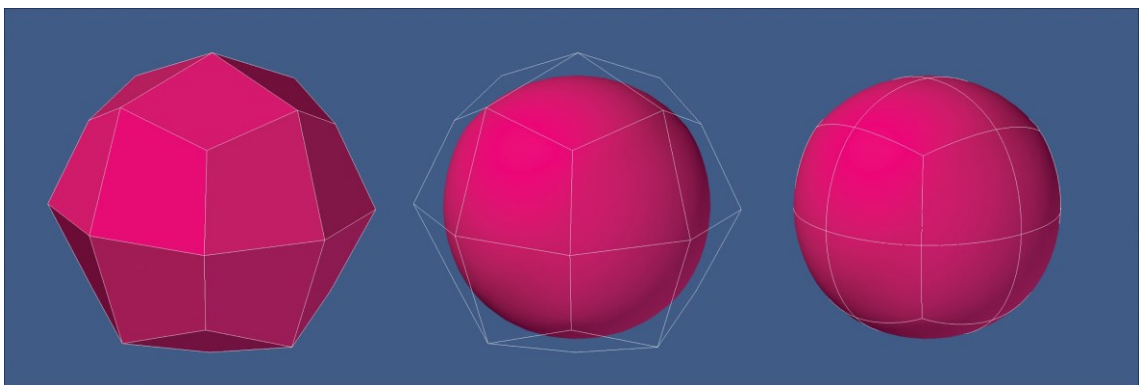
lisäksi. B-splinet ovat osittaisia polynomikäyriä, joilla on parametrinen muoto. Yksinkertaistaen ne perustuvat neljään käyrän ulkopuolella sijaitsevaan kontrollipisteeseen. B-spline mahdollistaa kaarevien muotojen mallintamisen vähemmällä pistemäärällä polygonimalleihin verrattuna. Kontrollipisteiden avulla B-splineä voidaan muokata erittäin tehokkaasti. (Vaughan 2011, luku 4.)

NURBS on laajasti käytetty mallinnustapa 3D-mallintamisessa. Aiemmin niitä käytettiin laajalti orgaanisten asioiden mallintamiseen elokuva- ja TV-tuotannoissa. Nykyisin Subdivision-mallit ovat korvanneet NURBS-mallien käytön näissä tuotannoissa. (Vaughan 2011, luku 4.)

2.3 Subdivision surface

Subdivision surface -mallien voidaan nähdä kuuluvan samaan kategoriaan NURBS-mallien kanssa. Ne ovat yksi tapa mallintaa orgaanisia muotoja, kuten nojatuolin kaareva istuinosa, jossa ei ole suoria pintoja.

Subdivision-työkalut ovat animaatiostudio Pixar Animationin kehittämiä. Niillä pystytään luomaan orgaanisia malleja, joita ei ole mahdollista luoda muilla työkaluilla. Kuten NURBS, Subdivision on myös ontto rakenteeltaan. Malli voidaan myös muuttaa joissain tilanteissa NURBS- tai polygonimuotoon. Subdivision-mallin muokkaaminen tapahtuu sen ympärillä olevan häkin muokkaamisella. (Allen 2021, 180.)



Kuva 5. Yksinkertaisesta kulmikkaasta polygonimallista luodaan sileä subdivision-malli, jota muokataan kontrollihäkin avulla (Vaughan 2011, luku 4).

Subdivision luo sileän kaarevan pinnan karkeasta polygoniverkosta. Tämä prosessi luo pehmeän pinnan polygoniverkon pisteiden perusteella tehden niistä kontrollihäkin subdivision-mallille. Häkin ohjauspisteiden tiheyttä voidaan lisätä tai vähentää helposti, mikä mahdollistaa monimutkaisten sileiden mallien tekemisen nopeasti yksinkertaisen polygonimallin pohjalta. (Vaughan 2011, luku 4.)

Perusajatus subdivision-malleissa on jakaa se pienempiin ja yksityiskohtaisempiin osiin. Mallinnustapa mahdollistaa yksinkertaisen polygoniverkon muovaamisen haluttuun muotoon. Kun ohjauspisteitä vedetään tai työnnetään, polygonit jakaantuvat mallissa automaattisesti, mikä lisää ohjauspisteitä ja tekee mallin muodoista realistisemman. Subdivision hyödyntää matemaattista kaava, joka perustuu Catmull-Clarc-algoritmiin. (Dassault Systems i.a.)

2.4 Teksturointi

Viimeistelty ja tarkasti luotu teksturointi yhdessä hyvin toteutetun valaistuksen kanssa ovat avainasemassa onnistumiseen renderöintivaiheessa (Allen 2021, 180). Teksturointi on prosessi, jossa 3D-mallin pinnan materiaali määritetään. Mallin pinta verhoillaan 2D-kuvalla, minkä lisäksi määritellään, kuinka tekstuuri käyttäytyy valossa. Prosessia kutsutaan myös nimellä PBR Physica based rendering. (A23D 2022.)

Teksturoinnilla määritetään mallin materiaalin yksityiskohdat ja sen käyttäytyminen valossa. Materiaalin valinnan on tarkoitus antaa katsojalle ensisilmäyksellä vastaus, mistä malli on tehty. Reaalimaailmassa jokaisella materiaalilla on suhteessa valoon ominaisuuksia, kuten heijastaminen, taittuminen ja säteily. Nämä ominaisuudet määritetään teksturoinnissa myös 3D-maailmaan. Pienimpien yksityiskohtien, kuten ryppyjen, halkeamien tai naarmujen, luominen teksturoinnilla on huomattavasti helpompaa kuin niiden mallintaminen kolmiulotteisella geometrialla. (A23D 2022.)

Tekstuuri sijoitetaan 3D-mallin pinnalle UV-kartan avulla, joka on luotu levittämällä 3D-mallin pinta kaksiulotteiseen muotoon. UV-kartta on kaksiulotteinen esitys kolmeulotteisesta mallista, jossa 3D-malliin lisätään horisontaali- ja

vertikaalikoordinaatit. Näiden koordinaattien avulla tekstuuri sijoitetaan mallin pinnalle. Koordinaatisto linkittää kaksiulotteisen kuvan ja mallin kolmiulotteisen pinnan toisiinsa. (A23D 2022; Vaughan 2011, luku 4.)

2.5 Renderöinti

Esitystekniikan suunnitelmia on usein tarve jakaa muulle työryhmälle tai asiakkaalle. Tällöin tehokkain tapa suunnitelmien näyttämiseen on renderöity kuva suunnitelmista, joista käy ilmi valaistus, mittasuhteet sekä käytettävät materiaalit.

Renderöintivaiheessa mallista luodaan yleensä fotorealistinen ja kaksiulotteinen kuva. Tämä prosessi on 3D-visualisoinnin viimeinen vaihe, jota on edeltänyt mallien luominen, teksturointi sekä valaistuksen lisääminen. Renderöinti on prosessi, joka ottaa kuvakaappauksen mallinnuksesta halutusta kuvakulmasta. Renderöinti ei ole yksi universaali prosessi, vaan menetelmiä on useita erilaisia. (Adobe i.a.)

Renderöintimetodit pyrkivät mallintamaan valon heijastumista erityyppisiltä pinoilta (Kajiya 1986,143). Kajiya esitteli vuonna 1986 renderöintiyhtälön, jota kutsutaan myös valonkuljetusyhtälöksi (Humphreys, Wenzel & Wenzel. 2017,1.7.1).

Kuvassa 4 oleva Nvidian esitys renderöintiyhtälöstä voi vaikuttaa monimutkaiselta, mutta pohjimmiltaan sen tarkoitus on kuvata, miten valo päättyy katselupisteeseen. Tämän yhtälön kautta voi helpommin hahmottaa, miten valo käyttäytyy ja mitkä funktiot siihen vaikuttavat renderöitäessä. (Nvidia Developer 2009.) Yhtälöä tarkasteltaessa on hyvä huomioida, ettei sitä pysty ratkaisemaan analyyttisesti kuin yksinkertaisimmissa sovelluksissa tai käyttämällä numeerisia integrointitekniikoita (Humphreys ym. 2017,1.2).

$$L_o(X, \hat{\omega}_o) = L_e(X, \hat{\omega}_o) + \int_{S^2} L_i(X, \hat{\omega}_i) f_X(\hat{\omega}_i, \hat{\omega}_o) |\hat{\omega}_i \cdot \hat{n}| d\hat{\omega}_i$$

Kuva 6. Renderöintiyhtälö (Nvidia Developer 2009).

Renderöintiyhtälön perusta on energian tasapaino, jossa valon määrä pysyy samana, vaikka sisään tuleva valo heijastuisi tai jakaantuisi eteenpäin. Yhtälö perustuu radiometriseen valon kuvaamiseen, jossa aaltoliikkeen optisia vaikutuksia ei huomioida ja radianssi jakaantuu tasaisesti kohteeseen. (Humphreys ym. 2017, 1.4.1.)

The diagram shows the rendering equation with components color-coded and labeled below:

$L_o(X, \hat{\omega}_o)$	$=$	$L_e(X, \hat{\omega}_o)$	$+$	\int_{S^2}	$L_i(X, \hat{\omega}_i)$	$f_X(\hat{\omega}_i, \hat{\omega}_o)$	$ \hat{\omega}_i \cdot \hat{n} $	$d\hat{\omega}_i$
Outgoing light		Emitted light			Incoming light	Material	Lambert	
Ulos lähtevävalo		Valon lähteet			Sisääntuleva valo	Materiaali	Lambert's Cosin Law	

Kuva 7. Renderöintiyhtälö selitettynä (Nvidia Developer 2009).

Nvidia jakaa kuvassa 5 renderöintiyhtälön neljään osaan, joista ensimmäinen vasemmalla on uloslähtevä valo, joka on myös katselupiste, jolla on sijainti ja katselusuunta. Toisena tulevat valonlähteet, joille määritetään sijainti ja valon ulostulosuunta. Kolmantena on sisään tuleva valo eli heijastukset, joilla on sijainti ja sisääntulosuunta. Neljäntenä yhtälössä on materiaali, jolla on sijainti, sisääntulo- ja ulostulosuunta. Esimerkiksi peili heijastaa valoa erittäin hyvin yhteen suuntaan, kun taas jotkut materiaali voivat hajottaa sen useampaan suuntaan. Yhtälön viimeinen osa huomioi Lambertin kosinilain, jossa huomioidaan valon tulokulman vaikutus, jossa kohtisuoraan tuleva valo on voimakkaampi, kuin sivulta kulmassa tuleva valo. (Nvidia Developer 2009.)

Suurin osa fotorealisticista renderöintiohjelmistoista pohjautuu ray tracing eli säteenseuranta-algoritmiin. Algoritmi seuraa valonsäteen polkua sen osuessa esiinisiin ja heijastuessa ympäristöön. Oleellimmat elementit ovat kamera, säteenleikkauspiste, valonlähteet, näkyvyys, pinnan käyttäytyminen valossa, epäsuoran valon sironta ja säteen eteneminen. (Humphreys ym. 2017,1.2.)

Kamera määrittää sijainnin, mistä kuvakulmasta renderöintiä tarkastellaan, ja samalla se toimii yleensä säteiden seurannan lähtöpisteenä. Pistettä, jossa valonsäde kohtaa mallin pinnan kutsutaan leikkauspisteeksi. Useissa renderöintiohjelmissa on varatoiminto, jolla leikkauspisteen sijainti tarkastetaan lähettämällä pinnasta säde takaisin kameraan. Valonlähteet ovat avainasemassa renderöitäessä, ja säteen seurannalla mallinnetaan valojen sijainnin lisäksi, miten valo kulkee ja heijastuu tilassa. Näkyvyydellä tarkoitetaan pinnan ja valonlähteen välissä olevaa reittiä, jotta valo osuu pintaan. Pinnan käyttäytyminen valossa ja sen mahdollinen eteenpäin säteily on yleensä tehty parametriarvoiksi, jolloin ominaisuuksia voidaan helposti muunnella. Epäsuora sironta huomioi valon mahdollisuutta kulkea aineen läpi sekä heijastua eri pinnoista, kuten lasista, jolloin on tarpeellista seurata myös pinnasta lähtevän säteen reittiä. Säteen eteneminen huomioi valon käyttäytymistä ilmassa esimerkiksi, kun usva tai savu tuovat valokiilat esiin. Valokiilojen näkyminen ilmassa vaatii renderöinniltä huomattavasti monimutkaisempaa laskentaa kuin pelkän pinnan valaistus. (Humphreys ym. 2017,1.2.)

3 Työdokumentointi

Teknisen suunnitteluprosessin lopputuloksena on työdokumentointi, joka mahdollistaa suunnitelmien rakentamisen toimivaksi kokonaisuudeksi. Työdokumentoinnin laajuus vaihtelee tuotantojen koon mukaan. Pienimmissä sen voi tehdä valoteknikko kytkentälistan muodossa ja suurimmissa tuotannoissa dokumentoinnin laatii erillinen työryhmä, joka koostuu eri osa-alueiden ammattilaisista. (Siren 2019,33)

Työkuvien tehtävänä on toimia kommunikoinnin välineenä ja ne laaditaan lukijoita varten. Luettavuus on työdokumenttien punainen lanka, joka määrittää mittojen ja tekstikenttien paikat, käytettävän viivapaksuuden, mitä kuvia mallista halutaan esittää, mitkä yksityiskohdat esitetään omina kokonaisuuksina ja otsikolaatikon sisällön. (Appleton 2020, 1,5.)

Suullisen kommunikoinnin tarve on läsnä lähes aina tapahtuma-alan tuotannoissa, mutta ensisijainen tiedonlähde tulisi olla työdokumentointi. Tämä mahdollistaa detaljitason kysymykset ja niiden jäsenneilyn läpikäynnin suunnittelijan ja toteuttajan välillä. (Appleton 2020, 1,5.)

3.1 Dokumentoinnin järjestys

Jokaisella produktiolla on omat tarpeensa työdokumenttien suhteen. Yritystapahtumilla, näyttelyillä, teatterilla, TV- ja kiertuetuotannoilla on toisistaan poikkeavia tarpeita työkuvien suhteen. Useimmat produktiot tarvitsevat lajitelman erilaisia työkuvia, joiden tunnistaminen on osa systemaattista työskentelyprosessia. (Appleton 2020,136.)

Dokumentoinnin ensimmäisillä sivuilla tulisi olla yleiskuva kokonaisuudesta, joka sisältää pohjakuva, keskilinan, sivuleikkauskuvan sekä havainnollistavat visuaaliset kuvat kokonaisuudesta, kuten renderöidyt kuvat tai valokuvat (Appleton 2020,136).

Appleton esittää seuraavat kohdat tyypilliseksi teatterilavastuksen työdokumentointirakenteeksi (Appleton 2020,136).

1. Renderöity tai kuvitettu perspektiivikuva kokonaisuudesta
2. Pohjakuva
3. Keskilinan sivuleikkaus
4. Näyttämö / esiintymisalue
5. Yksittäisten elementtien korkeudet ja yksityiskohdat
6. Muut referenssit ja esimerkit, tekniset yksityiskohdat, referenssikuvat
7. Pintojen käsittely / materiaalit

3.2 Mittakaava

Mittakaava on mallin suhteellinen koko eli suhde todellisen ja esitetyn kuvan välillä. Sen avulla saamme todellisuudessa isomman asian mahtumaan paperille tai kuviin. Metrisessä mitoituksessa esitystekniikassa yleisimmin käytetyt skaalat ovat 1:25 ja 1:50. (Allen 2021, 6.)

United States Institute for Theatre Technology antaa seuraavan ohjeistuksen mittakaavojen käytölle (USITT 2019). USITT:n ohjeistusta käytetään työssä, koska se on laadittu esitystekniikan dokumentointia varten. Vastaavia ohjeistuksia löytyy myös ISO-standardista tekniseensuunnitteluun, mutta ne on laadittu teolliseen käyttöön kuten laivanrakentamiseen ja teolliseen tuotantoon. Ohjeistus on muutettu metriseen järjestelmään, alkuperäinen imperiaalinen skaala näkyy suluissa.

- 1:50 Pohja- ja sivukuvat ($\frac{1}{4}'' = 1'-0''$)
- 1:25 Pohja- ja sivukuvat, rakennukset ja julkisivut ($\frac{1}{2}'' = 1'-0''$)
- 1:10 Pienet objektit ja yksityiskohdat ($1'' = 1'-0''$)
- 1:5 Hyvin pienille objekteille ja yksityiskohdille ($3'' = 1'-0''$)
- 1:1 Täysi koko suurin tarkkuus ($1'' = 1''$)

Skaalan muuttamisessa imperiaalisesta metriseen on tehty pyöristyksiä, koska imperiaaliset mitat eivät käänny suoraan metrisiin mittoihin. Esimerkiksi 1:48 metrinen skaala on lähempänä $\frac{1}{4}'' = 1'-0''$ imperiaalista skaalaa, kuin 1:50 metristä skaala.

3.3 Mitat

Mittojen merkitsemisen tulee olla selkeää ja johdonmukaista. Suuntaamiseksi suositellaan joko aligned tai undirectional vaihtoehtoja. Aligned orientaatiossa mitat suunnataan kohteen ääriviivojen mukaan ja undirectional orientaatiossa mittoitus on pysty- tai vaakasuunnassa. (USITT 2019.) Tyypillisesti mittojen kirjainkokona käytetään kahdentoista pisteen tekstikokoa. Mittakuvia tehtäessä on

hyvä valita tapa, jolla mittoja merkitään, ja määrittää mistä asioista mitat otetaan. (Appleton 2020, 99.)

3.4 Viivapaksuudet

Kun dokumentointia tehtiin ennen käsin piirtämällä, viivapaksuuksia oli käytössä kolmea eri paksuutta: ohut, medium ja paksu. Ohuella piirrettiin taustalla olevat asiat ja mitat, paksuin oli varattu kuvien rajaamiseen ja leikkauskuviin, joten lähes kaikkeen muuhun käytettiin medium-viivapaksuutta. Tällä työtavalla pärjää myös nykypäivän CAD-ohjelmistojen kanssa. (Allen 2021, 3.) Tietokoneiden myötä viivapaksuuksia on käytännössä rajattomasti. USITT suosittelee alla olevia viivapaksuuksia esitystekniikan dokumentointiin (USITT 2019).

- Extraohut 0,13 mm näkyville viivoille
- Ohut 0,25 mm mitat, jatkoviivat ja nuolet
- Medium 0,35 mm objektien / laitteiden äärioviivat
- Paksu 0,50 mm leikkaus kuvienkehukset ja otsikkoikkunat
- Extrapaksu 0,70 mm reunat
- Teksti 0,40 mm tekstikoko 10–13,5 pt.

ISO-128-2:2022-standardin mukaan rakennusteknisissä piirustuksissa on mahdollista rajata viivapaksuudet kolmeen, joiden kertoimet ovat 1:2:4, eli esimerkiksi 0,13 mm, 0,25 mm ja 0,50 mm (ISO-128-1:2022).

Viivapaksuuksia valittaessa on hyvä huomioida, että skaalan valinta vaikuttaa lopputulokseen. Esimerkiksi 1:25-skaalassa oleva 0,25 mm:n viivapaksuus näyttää paksummalta 1:100-skaalassa, koska esitetyt asiat ovat pienempiä isommassa skaalassa.

3.5 Tekstikentät

USITT suosittaa käytettäväksi mahdollisimman vähän erilaisia fontteja läpi koko dokumentoinnin. Erilaisten korostuksien käyttäminen tekstissä tulisi välttää, kuten alleviivauksia, lihavoitua tai kursivoitua. Jotta viestintä pysyy tehokkaana,

tekstikenttien ja kirjallisten huomioiden tulisi olla lyhyitä. Alla on listattuna heidän suosittelemia tekstikokoja sekä fontteja työdokumentointiin. (USITT 2019.)








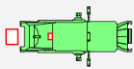
Tekstikoot

- Huomiot 10–13,5 tekstikoko (Notes)
- Tunnisteet 20 tekstikoko (Labels)
- Otsikot 26,5 tekstikoko (Titles)

Fontit

- Cityblueprint
- Romand
- Arial
- Calibri
- Sans Serif

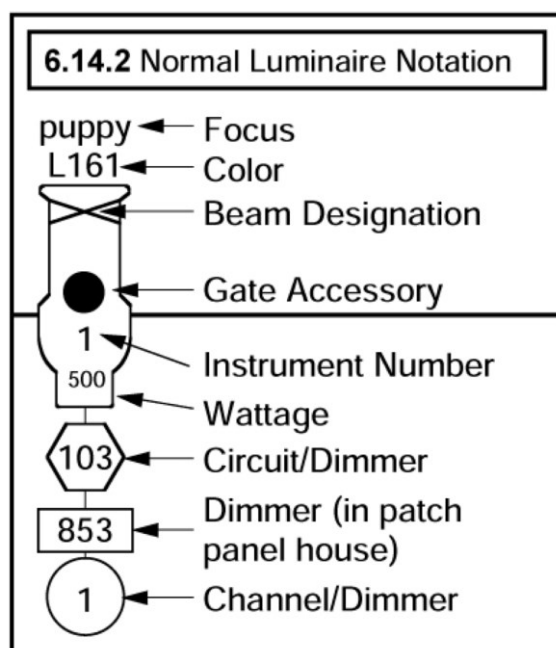
3.6 Symboliavain ja valaisinmerkinnät

Symbol Key		
	Ereimul Elidy-S	20
	Elidy PSU PSX9	5
	Chauvet Rogue Outcast 2X Wash	10
	Martin Rush MH 3 Beam	18
	Storm 1000 RGBW 7ch	9
	Robert Juliat Lutin 306 LF	8
	Laser Imagineering Sunbeam 100FC	14
	PROLIGHTS-ECLFWI PVWBK-36	4

Kuva 8. Esimerkki symboliavaimesta

Symboliavaimen tarkoitus on kertoa mitä kukin symboli tarkoittaa. Symboliavaimesta käytetään myös nimeä legend (Allen 2021, 341). Symboliavaimen käyttö tulee USITT:n vuonna 2006 laatimasta RP-2-suosituksesta valokarttojen laatimiseen (USITT 2006). Näitä ohjeistuksia voidaan soveltaa myös muihin dokumentteihin, kuten ripustus- tai lavastusdokumenteissa.

USITT suosittelee kuvan 7 mukaista valaisinmerkintöjen selitettä käytettäväksi valaisinmerkintöjen kanssa (USITT 2006).



Kuva 9. USITT:n esimerkki valaisinmerkinnöistä (USITT 2006).

USITT:n RP-2-suositus valaisinmerkinnöistä on vanha ja pohjautuu teatteriym-
päristössä toimimiseen. Ohjeistus ei esimerkiksi huomioi universumeiden tai
DMX-osoitteiden merkintätapaa. Ohjeistuksesta saa kuitenkin suuntaviivoja,
joita voidaan soveltaa tämän päivän dokumenttitarpeisiin.

3.7 Otsikkoikkuna

Otsikkoikkuna eli title block identifioi jokaisen sivun. Otsikkoikkunassa tulisi vä-
hintään käydä ilmi suunnittelijan nimi, projekti, päivämäärä, skaala ja sivunu-
mero (Allen 2021, 361). Title block voi sijaita dokumenttien oikeassa

alakulmassa, koko sivun korkuisena oikeassa laidassa tai koko sivun levyisenä sivun alalaidassa. Otsikkoikkunan muodon ja sijainnin tulisi olla sama kaikilla sivuilla. (USITT 2019.) Alla oleva listaus otsikkoikkunaan merkittävistä tiedoista on Allenin teoksesta, joka monelta osin yhtenäinen USITT:n vastaavan suosituksen kanssa (Allen 2021, 361).

- Projektin nimi
- Sivunotsikko
- Tekijän nimi
- Päivämäärä, jolloin dokumentti on luotu
- Sivunumero ja sivujen kokonaismäärä
- Skaala
- Tapahtumapaikka
- Vastuuvapauslauseke
- Tekijänoikeudet
- Yhteystiedot

4 Ohjelmistoja

Erilaisten ohjelmistojen paremmuudesta mallintajat ovat väitelleet kauan. Suunnittelijan on turha tarrautua yhteen ohjelmaan ja sen paremmuuteen, koska uransa aikana jokainen suunnittelija tulee väistämättä käyttämään eri ohjelmistoja ja ne tuovat mukanaan oman toimintalogiikkansa, mutta fundamenteiltaan mallinnus pysyy samanlaisena. Mallintaminen on enemmän riippuvainen mallintajasta kuin mallinnusohjelmasta. (Vaughan 2011, luku 1.)

Seuraavaksi esitellään ohjelmistoja, joita on käytetty tämän työn projektien suunnittelussa. Kaikki kolme ovat valikoituneet muutaman vuoden kokeilujen jälkeen. Ohjelmistovalintaan on vaikuttanut haluttu renderöinnin lopputulos sekä mahdollisimman helppo tiedostojen liikuttelu ohjelmistojen välillä. Vastaavat työvaiheet olisi pystynyt toteuttamaan myös useilla muilla ohjelmistoilla.

4.1 Vectorworks Spotlight

Vectorworks on vektoripohjainen suunnitteluohjelma, joka antaa työkalut 2D- sekä 3D-malliintamiseen (Appleton 2020, 5). Ohjelmiston ensimmäinen versio on julkaistu vuonna 1985 MiniCad nimellä Applen Macintosh-tietokoneille. Vuonna 1990 ohjelmiston nimi muutettiin nykyiseen Vectorworks-muotoon. Ohjelmisto on laaja ja siitä on kahdeksan erilaista versiota, joista tapahtumasuunnitteluun ovat Spotlight, Braceworks ja ConnectCAD. (Bethany 2017; Vectorworks i.a.a.)

Vectorworks Spotlight on esitystekniikan suunnitteluohjelma, joka sisältää laajan kirjaston valaisimia, kaiuttimia, lavaste-elementtejä, videopintoja, trusseja sekä ripustusvälineitä. Ohjelmisto tukee laajasti eri tiedostomuotoja import- ja export-toimintoja varten. Projektien jako on mahdollista eri käyttäjien kesken, mikä mahdollistaa useamman henkilön samanaikaisen työskentelyn saman tiedoston parissa. (Vectorworks i.a.c.)

Vectorworks Braceworks on Spotlight-ohjelman lisäosa, joka on tehty väliaikaisten ripustuksien kuormituksen tarkasteluun. Lisäosa mahdollistaa mallintamisen, ripustuksien analysoinnin ja dokumentoinnin samassa ohjelmassa. Rakenelaskelmat generoidaan suoraan piirretystä 3D-mallista, mikä vähentää käsin laskentaa. Laskennassa huomioidaan eurokoodit EC3 (teräsrakenteet) ja EC9 (alumiini rakenteet). Braceworks ei korvaa insinööritoimistoilla teetettyjä rakenelaskelmia tai sertifikaatteja. (Vectorworks i.a.b.)

4.2 Capture

Capture on valosuunnitteluun erikoistunut ohjelmisto, joka mahdollistaa valojen visualisoinnin ennakko-ohjelmoinnissa sekä valokarttojen ja raportoinnin tekemisen. Ohjelmisto tukee laajasti eri tiedostomuotojen import toimintoa, mutta export toimintoja on vain MVR-, glTF- ja DWG/DXF-tiedostomuodot. (Capture 2024.)

Ohjelmisto käyttää physical based -renderöintiä, joka mahdollistaa fotorealistisen pintojen käyttäytymisen valossa. Ohjelmisto panostaa valaistuksen realistiseen renderöimiseen erilaisten materiaalien kanssa. (Capture 2024.)

4.3 Twinmotion

Twinmotion on Epic Gamesin reaaliaikainen fotorealistinen renderöntiohjelma, joka toimii helppokäyttöisenä renderöntiliittymänä. Ohjelma toimii Unreal Enginen renderöntimoottorilla. Twinmotion toimii plugin-tyyppisesti useissa CAD-ohjelmistoissa, mikä mahdollistaa mallin geometrian muokkausten reaaliaikaisen siirtymisen Twinmotioniin. Ohjelmaa voidaan käyttää myös perinteisesti import- ja export-toimintojen kautta, jolloin ohjelmilla ei ole reaaliaikaista yhteyttä toisiinsa. (Twinmotion i.a.)

Twinmotion mahdollistaa erilaisten visualisten reaaliaikaisten esittelyjen tekemisen mallinnuksille kuvien, videoin ja interaktiivisen VR-esityksen muodossa. Vuorokauden ja vuoden aikojen sekä sääolosuhteiden muokkaaminen on tehty helpoksi. Twinmotion sisältää laajan kirjaston erilaisia tekstuureja, visualisointivaloja, huonekaluja sekä animoituja ihmishahmoja. (Twinmotion i.a.)

5 Tiedostomuodot

3D-mallintamisessa on usein tarve saada jokin ohjelmalla A mallinnettu tiedosto ohjelmaan B, mistä seuraa tutustuminen erilaisiin tiedostomuotoihin. Erilaisia tiedostomuotoja on paljon, koska lähes jokaisella ohjelmalla on oma tiedostomuotonsa. Käyn tässä luvussa läpi muutaman tärkeimmän tiedostomuodon, joita käytännön projekteissa on käytetty.

5.1 DWG

DWG-tiedostot ovat laajasti 3D-mallintamisessa käytettyjä tiedostomuotoja, joiden lyhenne tulee englanninkielisestä drawing sanasta. DWG kehitettiin 1970-luvulla ja lisensoitiin vuonna 1982 suunnitteluohjelmistojen yleistyttyä. DWG-

tiedostot voivat sisältää kaksi- tai kolmiulotteista vektorigrafiikkaa. Tiedostoja käytetään laajasti erilaisissa mallinnustöissä ja ne mielletään standardiksi esimerkiksi rakennepiirustuksissa. (Adobe i.a.b.)

5.2 MVR

My virtual rig eli MVR-tiedostoa käytetään tiedostojen siirtoon valopöytien, visualisointiohjelmistojen ja perinteisten CAD-ohjelmistojen välillä. Tiedostomuoto mahdollistaa geometrian ja tekstuurien lisäksi parametrusten arvojen siirtymisen ohjelmistojen välillä. Esimerkiksi valaisimien osoitetiedot siirtyvät tiedoston mukana mallinnusohjelman ja valopöydän välillä. (GDTF-share i.a.a.) MVR-tiedostomuodon ovat kehittäneet valopöytävalmistaja MA Lighting, Vectorworks ja valaisinvalmistaja Robe Lighting. (GDTF-share i.a.b.)

5.3 Unreal Datasmith

Epic Gamesin kehittämä Unreal datasmith on tiedostomuoto, jolla pelialan ulkopuolella operoivat suunnittelijat voivat saada 3D-malleille reaaliaikaisen renderöinnin käyttöönsä Twinmotion tai Unreal Engine ohjelmistoissa. Datasmith-tiedoston avulla Unreal Engine -pelimoottori saadaan toimimaan osassa ohjelmistoissa plugin-tyyppisesti, jolloin muutokset toisessa mallinnusohjelmassa näkyvät reaaliajassa pelimoottorin renderöinneissä. Unreal datasmith -tiedoston saa tallennettua useimmissa CAD-ohjelmissa suoraan, ja joihinkin on olemassa erillinen datasmith export plugin -ohjelma, jolla tiedostomuodon saa tallennettua. (Unreal Engine i.a.)

5.4 PDF

Portable document format lyhennetään muotoon PDF, joka on Adoben vuonna 1992 kehittämä tiedostomuoto. PDF-tiedostomuodon tarkoituksena on mahdollistaa dokumenttien esittely, ilman että käytettävä laitevalinta, ohjelmisto tai käyttöjärjestelmä muokkaa dokumenttien tekstimuotoilua tai kuvia. Tiedostomuoto voi sisältää esimerkiksi tekstiä, kuvia sekä vektorigrafiikkaa. PDF-tiedosto on standardisoitu 2008 ISO-3200 standardilla. (Wikipedia 2024b.)

6 Projektien kuvaus

Tässä luvussa esitelen kaksi suunnitteluprojektia, Heineken Polar Barin 2024 sekä Sateenkarilavan Ruisrock 2023 -festivaaleilla, joihin olen tehnyt suunnittelun sekä työdokumentoinnin. Projektien esittely painottuu mallintamiseen, renderöintiin, työdokumentointiin sekä suunnittelun onnistumiseen. Projektit ovat valikoituneet niiden erilaisuuksien vuoksi. Heineken Polar Barin suunnittelussa rakenteet, brändinäkyvyydet sekä ympäristön asettamat rajoitteet asettivat omat vaatimuksensa suunnitteluun sekä työdokumentointiin. Ruisrockin Sateenkaarilava puolestaan on hyvä esimerkki perinteisemmästä esitystekniikan suunnittelusta festivaaliympäristössä.

Tietopohja asettaa projekteille tavoitteeksi dokumentoinnin luettavuuden, mallintamismenetelmien hyödyntämisen, realististen renderöinti kuvien tekemisen sekä työskentelyn eri ohjelmistojen välillä. Projektiesittelyn jälkeisessä osiossa analysoidaan mallinnustapojen hyödyntämistä, esitellään renderöinti työvaiheen esiin tuomia huomioita ja tarkastellaan dokumentoinnin onnistumista sekä luettavuutta.

6.1 Heineken Polar Bar

Heineken Polar Bar -projektissa 2024 toteutettiin baari Rukatunturin Saaruan huipulle. Esituotannon työryhmä koostui suunnittelijasta sekä tuottajasta. Toteutuksessa oli mukana useita eri alihankkijoita sekä toimijoita aina valoteknikoista koneurakoitsijoihin sekä rinnehenkilökuntaan. Projektin ideointi ja suunnittelu toteutettiin yhteistyössä suunnittelijan, tuottajan sekä asiakkaan kanssa syksyn 2023 aikana. Toteutus tapahtui tammikuussa 2024, ja baari oli toiminnassa saman vuoden huhtikuuhun asti. Vastasin projektin suunnittelusta, mallintamisesta sekä työtyödokumentoinnin laatimisesta.

Baarin sijainti Saaruan huipulla aiheuttaisi vaihtelevia sääolosuhteita tuulen, pakkasen ja sateen muodossa, minkä takia baarin asiakkaille haluttiin luoda paikkoja, joissa voi tarpeen mukaan lämmitellä sekä olla tuulensuojassa. Baarin

rakenteissa päädyttiin hyödyntämään merikontteja myyntipisteenä sekä asiakaspaikkoina. Loput asiakaspaikat toteutettiin nuotiopaikkoina ja keloistuinilla. Alueelle rakennettiin lumesta seinät, jotka antaisivat tuulensuojaa sekä rajaisivat alueen.

Valollisesti kohde pyrittiin pitämään yksinkertaisena ja brändin mukaisena. Välineiksi valikoituivat Laser Imagining Sunbeam -valaisimet vihreän brändiväriin luomiseksi ja myrskylyhdyt tuomaan lämpöä vihreän brändiväriin kontrastiksi. Brändinäkyvyydet toteutettiin Heineken baarikontilla sekä valomainoksilla asiakaskontteihin ja sisääntuloporttiin.

Valaistusta varten toteutukseen suunniteltiin kolme erilaista trussirakennetta valaisimien kiinnittämistä varten. Trussiporttirakenteita suunniteltiin kaksi erilaista, yksi sisäänkäyntiin ja toinen yhdelle seinustalle. Kolmas rakenne oli viiden jalan trussisupportti, joka sijoitettiin baarin pitkälle seinustalle. Lopuksi merikonttien katoille lisättiin kontin mittaiset trussit niiden valaistukselle.

6.1.1 Mallintaminen

Mallintamisen ensimmäisessä vaiheessa Rukatunturin pohjakartta tuotiin DWG-tiedostona Vectorworks-ohjelmaan, minkä pohjalta baarin ja lumiseinien mitoitukset tehtiin. Kun seinät oli saatu paikoilleen malliin, lisättiin merikontit, joita varten tehtiin syvennykset lumiseiniin. Kaksi konteista oli varattu asiakaspaikolle sekä yksi toimisi baarin palvelutiskinä ja toimitilana. Mallinnuksessa käytettiin valmista mallia Vectorwoks-kirjastoista, jota muokkaamalla saatiin todellisia kontteja vastaava malli luotua.

Konttien asettelun jälkeen malliin piirrettiin baarin kalustus, joka koostui kalusteista asiakaskontteihin, nuotiopaikoista sekä kelopenkeistä. Konttien kalustus tehtiin valmiilla, ohjelman kirjastosta löytyvillä symboleilla. Nuotiopaikat ja kelopenkit mallinnettiin yksinkertaisina polygonimalleina. Nuotiopaikat olivat kaivonrenkaita, jotka mallinnettiin venyttämällä 2D-ympyrä haluttuun paksuuteen, minkä jälkeen mallista leikattiin halutun kokoinen reikä, joka vastasi kaivonrenkaan seinämä paksuutta. Kelopenkkien pölkkyosa mallinnettiin kaivonrenkaan

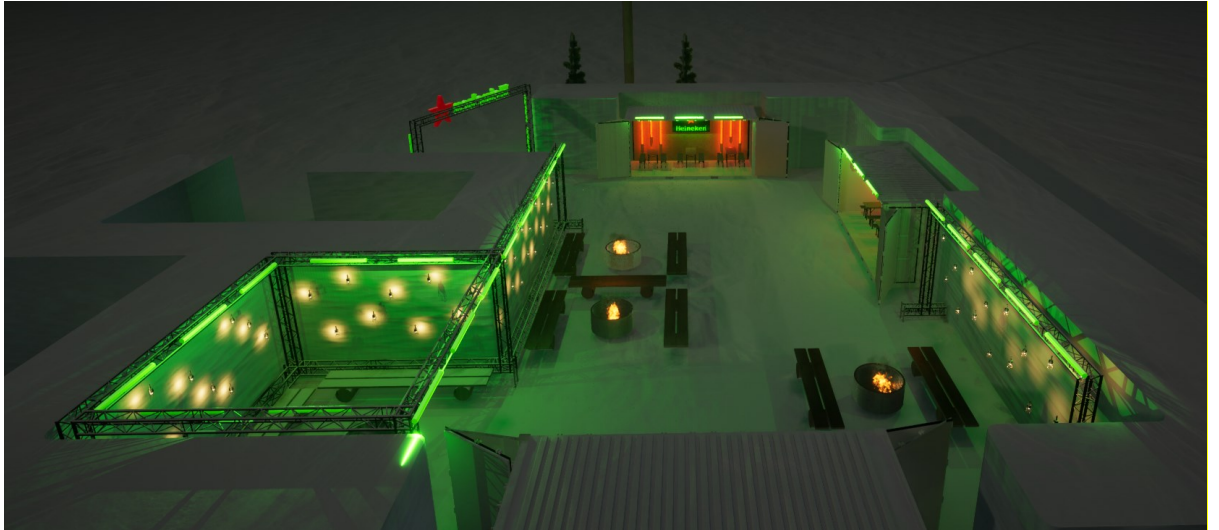
tapaan, mutta ilman sisälle tehtävää reikää. Istuinosa tehtiin malliin 2D-suorakaiteesta, jolle muokattiin haluttu paksuus. Penkeille lisätiin puinen tekstuuri ja kaivonrenkaille betoninen.

Valaistukselle suunniteltiin kolme erillistä trussirakennetta, joihin myrskylyhdyt, led-valaisimet sekä valomainos kiinnittyivät. Suunnittelussa käytettiin valmiita trussisymboleja Sixty82- ja Prolyte-trussivalmistajien Vectorworks-kirjastoista.

Viimeisenä mallinnettiin valomainokset pääporttiin sekä kahteen asiakkaille varattuun merikonttiin. Logot hankittiin rasterioimattomina PDF-tiedostoina, jotka purettiin polygoneiksi Vectroworksissä. Tämän jälkeen logot skaalattiin oikeaan kokoon ja niistä venytettiin 3D-mallit, joiden pintaan lisättiin halutut valoa hohtavat tekstuurit.

6.1.2 Renderöinti

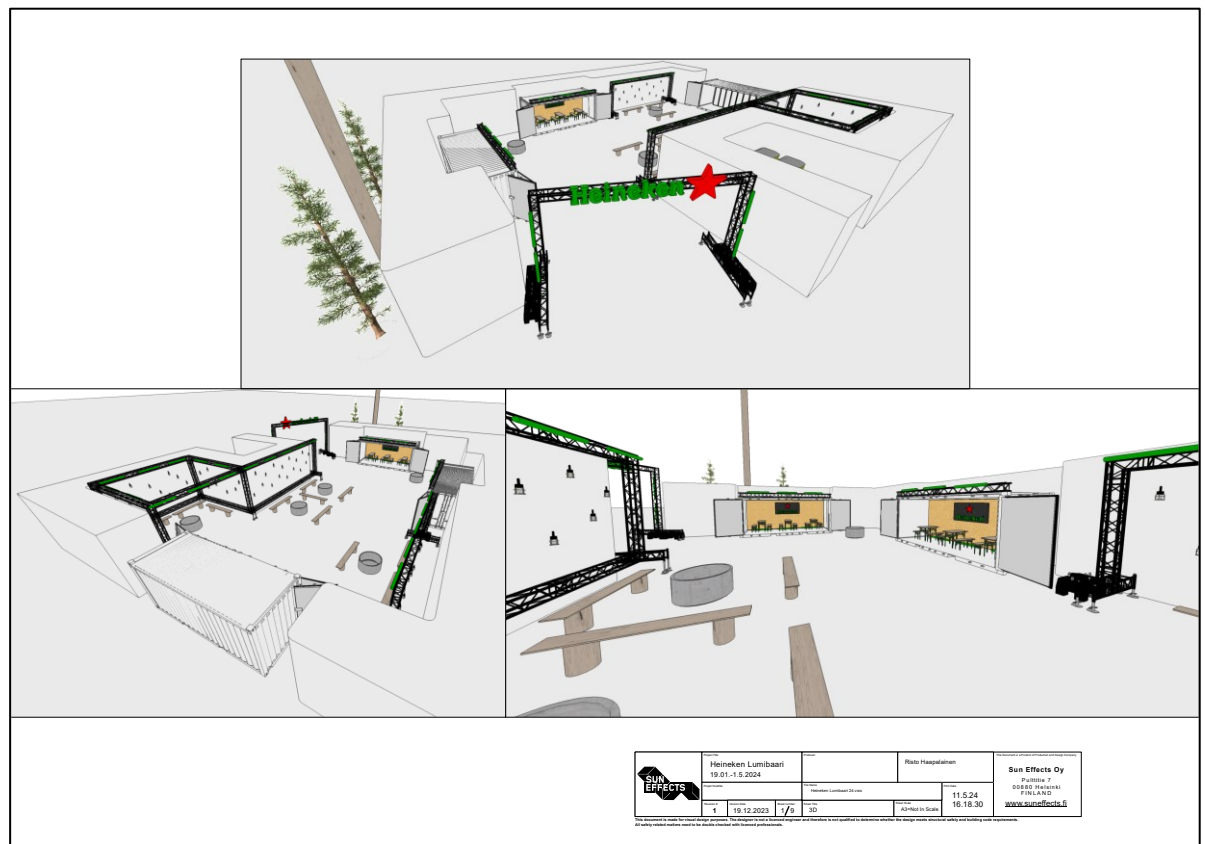
Renderöintikuvat luotiin Twinmotion-ohjelmassa, koska toteutus tapahtui talvella ulkoilmassa ja sen haluttiin näkyvän renderöintikuvissa. Capturella ja Vectorworksillä lumisateen ja tulen mallintaminen on haastavaa, mikä puolsi Twinmotionin valikoitumista renderöntiohjelmaksi. Valinnan kääntöpuolena oli valojen mallinnus, missä jokainen visualisoitava valo joudutaan piirtämään erikseen, mitä Capturessa ja Vectorworksissä ei tarvitse erikseen tehdä. Kyseinen ohjelmisto valinta lisäsi renderöintiin yhden työvaiheen, mutta mahdollisti luonnollisemman näköisen lumen ja tulen renderöintikuviin.



Kuva 10. Heineken Polar Bar

Malli tuotiin Vectorworksistä unreal datasmith -tiedostona Twinmotioniin. Valoa tuottavat sekä peilimäiset kiiltävät pinnat editoitiin ja luotiin uudelleen Twinmotionissa. Led-valaisimien, myrskylyhtyjen sekä valomainosten valo tehtiin kolmella erilaisella renderöintivalaisimella Twinmotionin valaisinkirjastosta. Teksturoinnin ja valaistuksen korjausten jälkeen malliin lisättiin nuotioiden tuli ohjelmiston kirjastosta. Viimeisenä työvaiheena renderöinnissä asetettiin haluttu sääolosuhde sekä vuorokaudenaika.

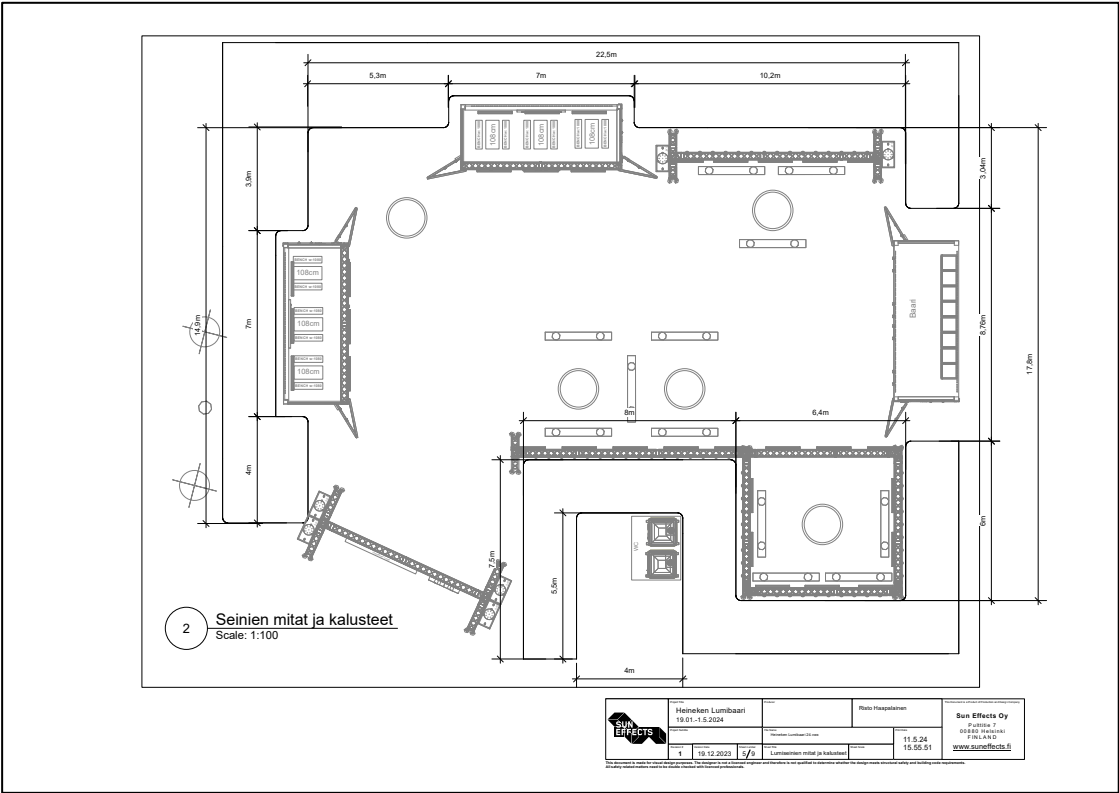
6.1.3 Dokumentointi



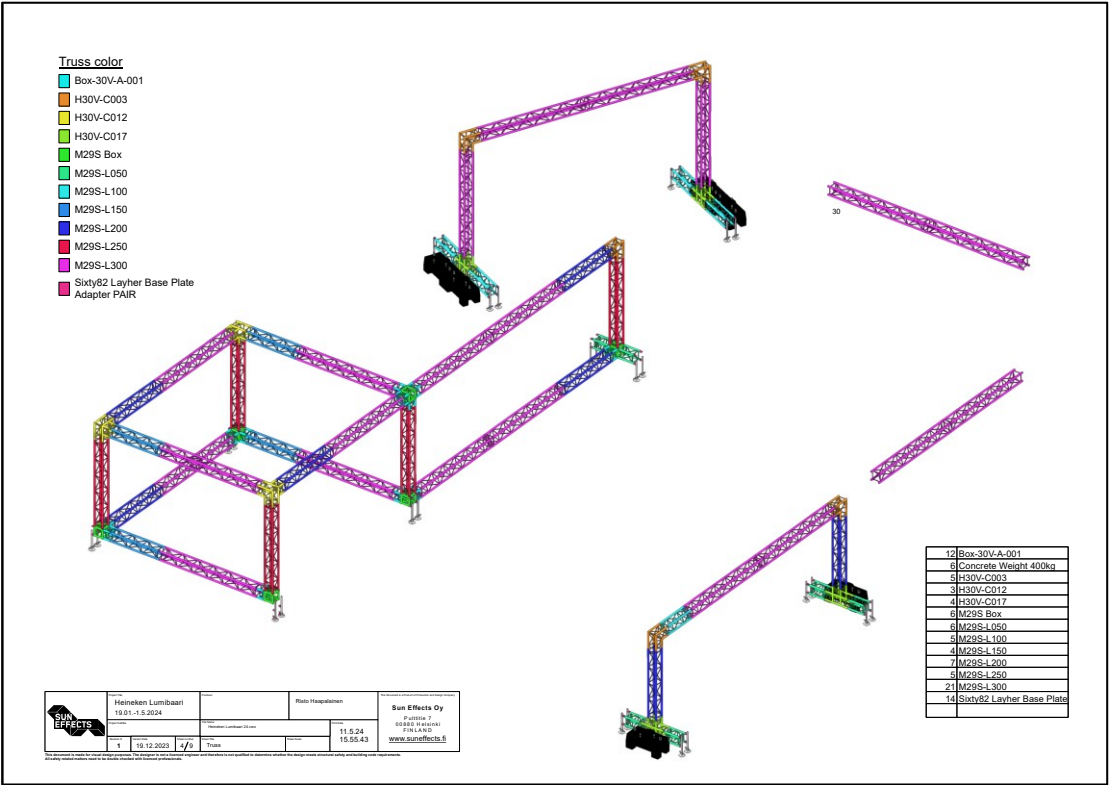
Kuva 11. Perspektiivissä olevat kuvat kokonaisuudesta.

Projektin työdokumentointi laadittiin rakennusjärjestyksen mukaan. Projektin edetessä listaan lisättiin vielä sähkökytkentäkuva rakennustarkastajalle.

- Perspektiivissä olevat kuvat kokonaisuudesta (kuva 9)
- Kontteihin tehtävä OSB-levytys
- Vapaat neliöt ja tilan mitat
- Trussirakenteet (kuva 11)
- Lumiseinien mitat, konttien ja kalusteiden asettelu (kuva 10)
- Lumiseinien mitoitus
- Valaistus Sunbeam -valaisimet
- Valaistus Myrskylyhdyt



Kuva 12. Lumiseiniin mitat, konttien ja kalusteiden asettelu.



Kuva 13. Trussirakenteet väri koodattuina.

6.1.4 Mallintamisen ja dokumentoinnin onnistuminen

Työdokumentointi onnistui riittävällä tarkkuudella. Asiat mahtuivat suunnitelluille paikoille, vaikka muutamia muutoksia lumiseinien rakenteisiin jouduttiin tekemään rakennusvaiheessa. Työryhmä sai toteutuksen tehtyä dokumentoinnin avulla. Suullista kommunikointia käytiin lumiseinien rakennusvaiheessa, koska suunniteltua seinien mitoitus jouduttiin muuttamaan ja tämän kerrannaisvaikutus muihin rakenteisiin haluttiin varmistaa.

Subdivision-työkaluja kokeiltiin lumiseinien mallintamiseen, mutta tästä luovuttiin aikataulupaineiden vuoksi. Työkaluilla olisi saanut realistisemman 3D-mallin lumiseinien muodosta, mutta polygonimallien käyttämiseen päädyttiin niiden tehokkuuden takia. Dokumentoinnin osalta karkeampi polygonimalli oli myös riittävä, koska seinien äärimitat olivat toteutuksen kannalta kriittisimmät. Mallinnustyön olennaisimmat osiot olivat perinteisten polygonimallien tekeminen, valmiiden mallien muokkaus sekä Vectorworksin kirjastosta löytyvien mallien hyödyntäminen.

Valomainosten mallintamisessa löytyi tehokas mallinnustapa, jossa haluttu logo tuotiin rasterioimattomana PDF-tiedostona Vectorwoksiin ja sitä editoimalla saatiin luotua 3D-malli valomainoksesta. Tekniikka pohjautui rasterioimattoman PDF-tiedoston sisältämään 2D-vektorigrafiikkaan, jota muokkaamalla pystytään luomaan mittatarkka 3D-geometria.

Mallin vieminen Twinmotioniin onnistui helposti Vectorworksin Unreal datasmith export -toiminnon avulla. 3D-mallia renderöitäessä Twinmotionissa havaittiin Vectorworksin teksturoinnin vaikuttavat Twinmotionilla työskentelyyn. Mallia tuottaessa Twinmotioniin voidaan määrittää layer-jaottelun menevän teksturoinnin mukaan. Tällä toiminnolla mallit, joilla on sama tekstuuri, saadaan samalle layerille. Vectorworksin tekstuuri valinnoilla voidaan siis määrittää mille layerille Twinmotionissa asia mene. Tämän todettiin olevan erittäin tehokasta tapa työskennellä visualisoinnin ja renderöinnin parissa.

Renderöintikuvat onnistuivat halutusti ja niillä saatiin välitettyä työryhmälle sekä asiakkaalle, miltä toteutus tulisi näyttämään valmiina. Kuviin jäi pieniä puutteita, kuten myrskylyhtyjen heijastukset lumiseinissä ja itse lumiseinän tekstuuri, jotka eivät olleet täysin realistisia, mutta olivat riittävän lähellä todellisuutta.

USITT:n ohjeistus suositeltujen mittakaavojen suhteen ei toiminut tämän projektin osalta. Kokonaisuudesta haluttiin työkuvia, joista rakenteet voisi hahmottaa kokonaan yhdestä kuvasta. Työdokumentointi päädyttiin tekemään 1:100-mittakaavassa, jotta koko baarin alue saatiin mahtumaan yhdelle A3-sivulle. Mittakaavan muutos vesitti suositukset viivapaksuuksista ja tekstikentistä, joita muutettiin suuremmiksi, jotta dokumentointi oli luettavaa. Valojen osalta mittakaavan olisi voinut muuttaa 1:50 ja jakaa valokartat useammalle sivulle, kuitenkin valaistuksen yhtenäinen mittakaava rakennekuvien kanssa lisäsi dokumentoinnin luettavuutta tässä projektissa.

6.2 Sateenkaarilava Ruisrock 2023

Sateenkaarilava Ruisrock 2023 -tapahtumaan oli kokonaistoteutus, joka sisälsi lavarakenteet sekä esitystekniikan kokonaisuudessaan. Erikoisuutena toteutuksessa oli Dome-kattorakenne, joka on kupolin muotoinen. Vastasin toteutuksen suunnittelusta sekä tuotannosta. Valotekniikan ja ripustusten toteutuksessa oli mukana lavan valo-operaattori, järjestelmäteknikko sekä valoteknikot. Rakenteiden toteutuksesta vastasi oma rakenneryhmä, ja äänentoiston toteutti erillinen alihankkija.

Valojärjestelmä suunniteltiin huomioimaan nopeat festivaali vaihdot artistien välillä, mikä käytännössä tarkoitti lattiavalaisimien sijoittamista pyörillä liikuteltaviin trussitolppiin sekä liikuteltavaan takalinjaan, mikä mahdollisti taustakankaiden vaihdon sekä pois ottamisen vaihdon ajaksi. Järjestelmä koostui etuvaloista, neljästä valolinjasta, lattiavalaisimista sekä layher-tornien valaisimista. Yksittäisiä ohjattavia valaisimia järjestelmässä oli noin seitsemänkymmentä, ja niiden ohjaukseen käytettiin kahdeksaa DMX-universumia.

Lavarakenteiden ja Dome-kattorakenteen rakennesuunnittelu oli toteutettu valmistajien toimesta aiempina vuosina. Valojärjestelmän suunnittelussa päädyttiin teettämään uusi painolaskelma Domen kattorakenteista, jotta haluttu valaisimien ripustus pystyttiin toteuttamaan, koska valaisimien trussi-linjat oli tarkoitus sijoittaa eri kohtiin kuin alkuperäisessä rakennelaskelmassa.

6.2.1 Mallintaminen ja suunnittelu

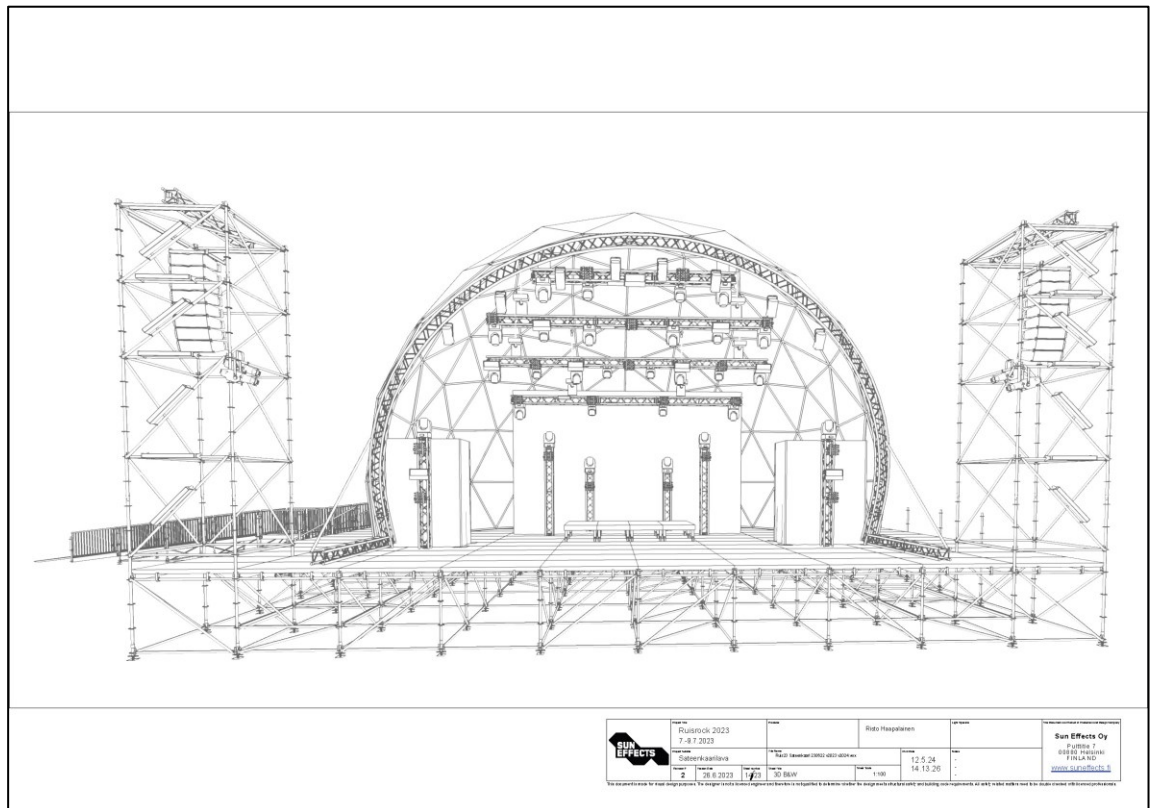
Projektin mallintaminen aloitettiin rakennedokumenttien tuomisella Vectorworks-ohjelmaan DWG-muodossa. Tämän lisäksi tapahtuman aluekartta tuotiin rasterioimattomana PDF-tiedostona. Lavan rakenteet sijoitettiin PDF-pohjakartan mukaan kohdilleen, minkä jälkeen valosetti suunniteltiin lavan Dome-kattorakenteisiin. Suunnittelun alkuvaiheessa malliin tehtiin tilavaraukset takatiloille, sivutiloille sekä itse esiintymisalueelle.

Valaisimien ja trussien mallintamisessa käytettiin Vectorworks-kirjaston valmistajien luomia valmiita kirjastoja. Valosetin perustana käytettiin Martin MH3 liikkuvia beam-valaisimia sekä Chauvet Rogue outcast X2 -liikkuvia wash-valaisimia. Settiin lisättiin efektiiviseen käyttöön Elidy-S pikselivalaisimia sekä Storm 1000-led-valaisimia. Lopuksi lavarakenteen layher-torneihin lisättiin Sunbeam 100FC-valaisimia, joilla tornien muoto saatiin esiin.

Valaisimista suunniteltiin ensin katossa olevien valaisimien sijoittelu, minkä jälkeen lisättiin halutut lattiavalaisimet ja layher-tornien valaisimien sijoittelu. Kun valaisimet oli sijoiteltu, suunniteltiin trussirakenteet, ripustukset, alustava kaapelointi sekä himmenninmaailman paikka.

Ripustuksien kuormalaskenta toteutettiin Vectorwoksien Bracework-ohjelmalla, jota hyödynnettiin moottoreiden määrittelyssä sekä ripustuspisteiden sijoittelussa kattorakenteisiin. Kattoon kohdistuvat painolaskelmat lähetettiin tehtaalte, koska moottoreiden sijoittelu oli erilainen kuin alkuperäisessä rakennelaskelmassa. Valmistajan uuden rakennelaskelman mukaan ripustus olisi mahdollista tehdä lavarakenteen ballastien muutoksella.

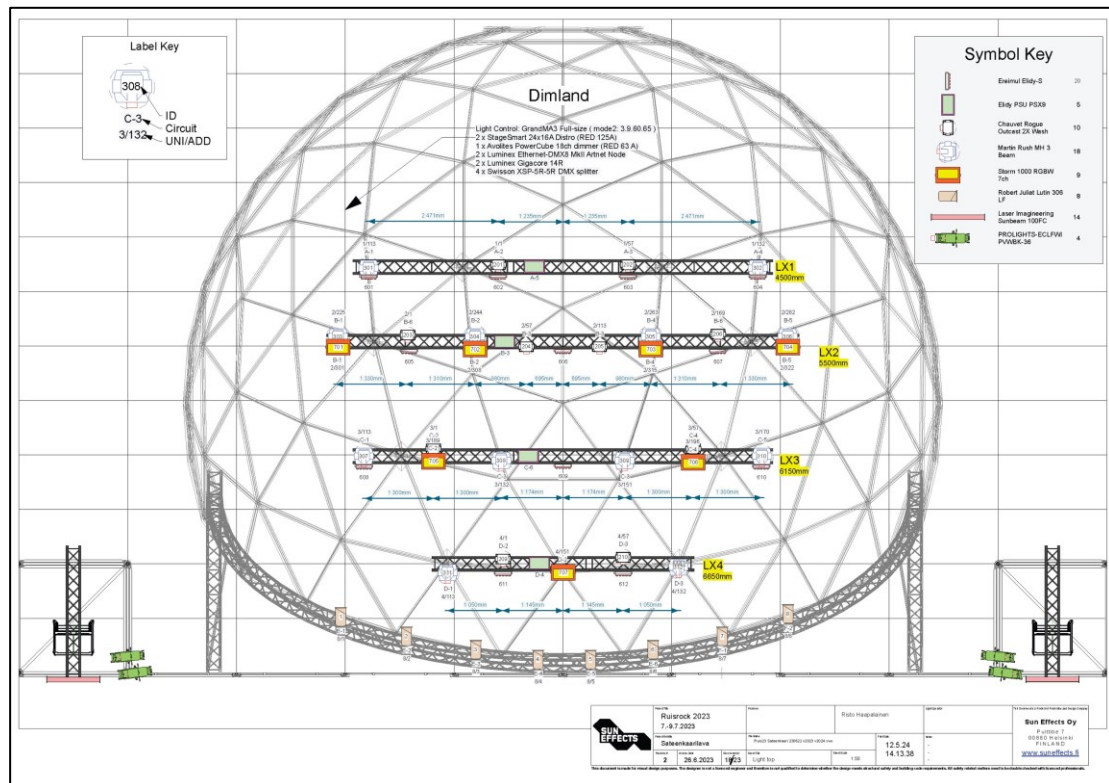
6.2.2 Työdokumentointi



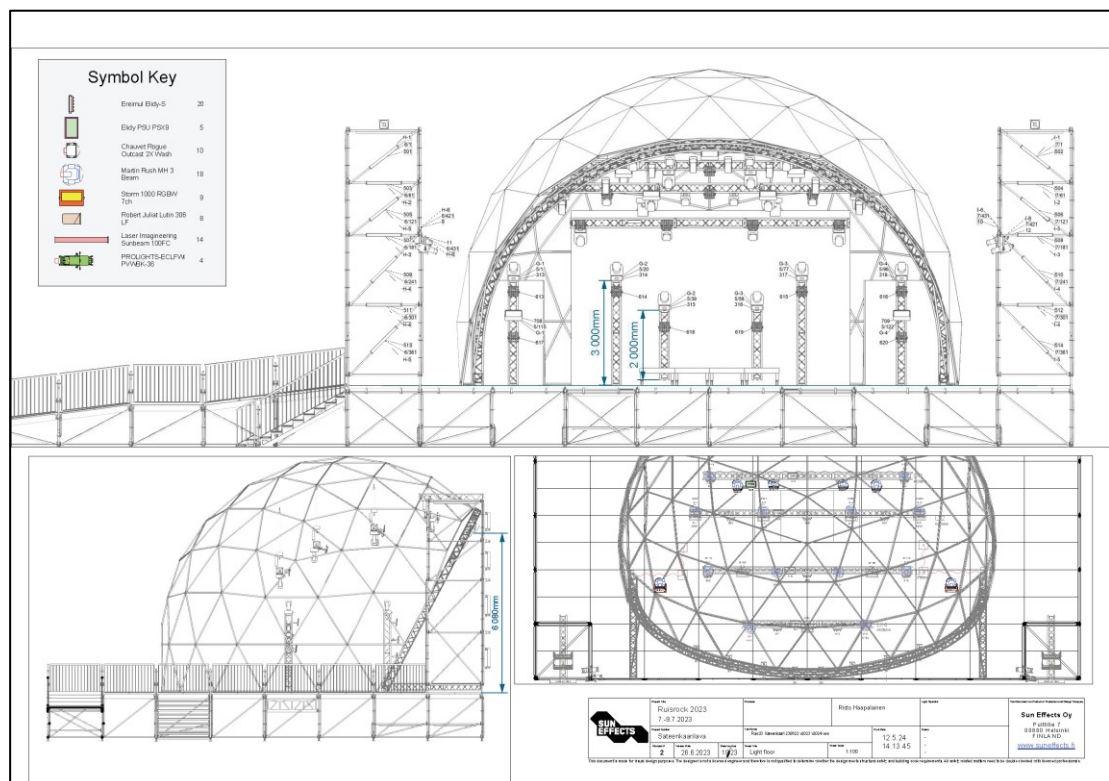
Kuva 14. Perspektiivissä oleva kuva kokonaisuudesta.

Projektin työdokumentointi laadittiin rakennusjärjestyksen mukaan. Alla listaus dokumentoinnista.

- Perspektiivissä oleva kuva kokonaisuudesta (kuva 12)
- Lavan mitat ja kulkujen leveydet
- Yleiskuva valaisimista
- Moottoreiden ja trussilinjoiden sijainti sekä painot
- Valokartta ylhäältä (kuva 13)
- Valokartta sivulta ja edestä sekä lattiavalaisimet (kuva 14)
- Socapex-syötöt sekä himmenninmaailma
- Valaisinlistaus ID-numeroinnin mukaan
- Valaisinlistaus socapex-syöttöjen mukaan
- Elidy-S virtalähteiden sijoittelu sekä DMX-osoitteet



Kuva 15. Valokartta ylhäältä.



Kuva 16. Valokartta sivulta ja edestä sekä lattiavalaisimet.

6.2.3 Renderöinti

Sateenkaarilavan renderöinti toteutettiin Capture-ohjelmalla, mikä oli luontevaa valojen esiohjelmoinnin tarpeen vuoksi. Vectorworksissa tehty 3D-malli tuotiin Captureen MVR-tiedostona, mikä mahdollisti myös valaisimien DMX-osoitteiden sekä universumitietojen siirtymisen ohjelmien välillä. Mallin tuominen vaati vielä valaisimien määrittämisen Capturen kirjastosta löytyviin heittämiin.



Kuva 17. Sateenkaarilavan renderöntikuva.

Lavarakenteiden tuominen Captureen tehtiin riisuttuna versiona. Osa rakenteista oli tuotu Vectorworksiiin DWG-muodossa, ja näiden tuominen kokonaisuudessaan Captureen teki tiedostosta turhan raskaan, minkä takia päädyttiin riisuttuun versioon. Esiohjelmointikäytössä olevan mallin reaaliaikainen renderöinti on oleellista, mikä edesauttoi ratkaisua. Teksturointia jouduttiin korjaamaan Capturessa metallipintojen sekä lavarakenteiden osalta, muutoin malli siirtyi ohjelmien välillä oikein.

6.2.4 Mallintamisen ja dokumentoinnin onnistuminen

Dokumentointi käytiin valo-operaattorin ja järjestelmätekniikon kanssa läpi esi-tuotantopalaverissa, minkä seurauksena dokumentointiin tehtiin pieniä muutok-sia valaisimien numerointiin, DMX-osoitteisiin sekä käytettäviin asetuksiin, jotta järjestelmä vastaisi paremmin festivaaliympäristön tarpeita.

Työdokumentointi onnistui hyvin, mistä osoituksena rakennusaikana käytävä kommunikointi oli vähäistä ja ongelmia järjestelmän kanssa tuli vastaan vähän. Suurin puute suunnittelussa ja dokumentoinnissa oli lattiatrussitolppien kahdek-san Elidy-S valaisimen kiinnitys, jonka toteutus suunniteltiin uusiksi rakennus-vaiheessa.

USITT:n suositukset työdokumentoinnista pääsivät oikeuksiinsa tässä projek-tissa. Suurin osa dokumentoinnista tehtiin 1:50 mittakaavassa, minkä ansiosta suositellut viivapaksuudet ja tekstikentät olivat luettavia suoraan eikä niiden ko-koa tarvinnut erikseen hakea. USITT:n suositus valaisinmerkinnöistä toimivat, myös pienen soveltamisen jälkeen. Projektissa käytettiin valaisinnumerointia, DMX-osoitetta sekä socapex-syötön kanavaa. Lattiavalaisimia varten tehtiin eril-linen etukuva, johon merkinnät tehtiin tekstikenttinä, jotka mukailivat USITT:n suosituksia. Suositukset on tehty pelkästään yläperspektiivissä olevia doku-mentteja varten.

Eri mallinnus menetelmien tarve projektissa oli varsin vähäinen. Muutamia trus-sitolppien-polygonimalleja muokattiin sekä tilavarauksia ja kaapelointi reittejä mallinnettiin 2D-polygonimalleilla. Elidy-S- ja Storm 1000 -valaisimien malleja muokattiin nimien sekä värityksen osalta.

Renderöinti onnistui hyvin, ja sillä saatiin esiteltyä työryhmälle sekä asiakkaalle, miltä suunnitelma tulisi visuaalisesti näyttämään. Vectorworksistä MVR-tiedos-ton tuominen Captureen ei mennyt täysin saumattomasti. Valojen tyypit joudut-tiin erikseen määrittelemään, millä Capture-kirjaston valaisimella kukin Vector-worksistä tuotu valaisin korvataan. Lisäksi valaisimien orientaatiota, jouduttiin korjaamaan, mikä todennäköisesti johtui, ohjelmistojen käyttämistä eri

koordinaatistoista. Vectorworks hyödyntää oikeankädenkoordinaatistoa ja Capture vasemmankäden.

6.3 Analyysi

Työdokumentoinnin luettavuutta ei voi korostaa liikaa. Se käy ilmi myös useista tietopohjan lähteistä. Appletonen ajatus, että ensisijaisen kommunikoinnin on tapahduttava dokumenttien kautta, jotta jää aikaa yksityiskohtien läpikäymiselle puoltaa paikkaansa (Appleton 2020, 1,5). Molemmissa tuotannoissa myös ennakopalaverit dokumenttien käyttäjien kanssa olivat ensisijaisen tärkeitä. Näissä selvisi dokumenttien puutteita, jotka korjattiin lopullisiin versioihin ja tekivät toteutuksista paremman.

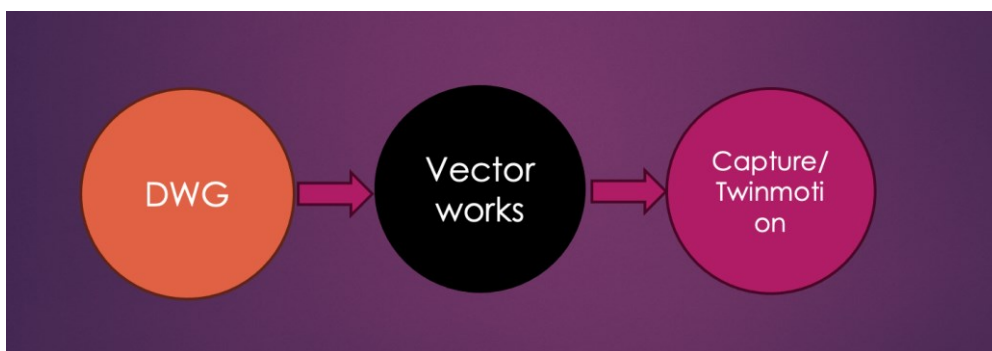
3D-mallinnuksen ja työdokumentoinnin suurin hyöty toteutui molemmissa projekteissa. Kokonaisuudet olivat toteutettavissa suunnitelmien mukaan, ja kommunikointi tarve rakennusvaiheessa oli varsin vähäistä.

Molemmissa projekteissa nousi esiin mallintamisen tarkkuustaso, johon kannattaa kiinnittää huomiota. Aina kaikkea ei ole välttämätöntä tehdä mittatarkaksi 3D-malliksi, vaan 2D-muoto tilavarauksesta voi riittää. Mallinnuksen tarkkuudella on merkittävä vaikutus mallintamiseen käytettävään aikaan. Sama huomio pätee myös renderöintivaiheeseen. Käytettävissä oleva aika vaihtelee suuresti eri tuotannoissa, minkä takia on oleellista pystyä määrittämään tarvittu dokumentoinnin ja mallinnuksen taso, jotta turhalta työltä välttyttäisiin.

Itse mallintamisessa molemmissa suunnitteluprojekteissa yksinkertaiset polygonimallit tulivat käyttöön kirjastoista löytyvien mallien rinnalle. Valintaan vaikutti mallien nopea työstettävyys. Molemmissa projekteissa olemassa olevien kirjastomallien editoiminen nousi myös isoon rooliin. NURBS- ja Subdivision-työkaluilla saadaan realistisempia orgaanisia muotoja polygonimalleihin verrattuna, mutta niiden hyödyntäminen vaatii syvällisempää opiskelua sekä aikaa itse mallinnus työssä.

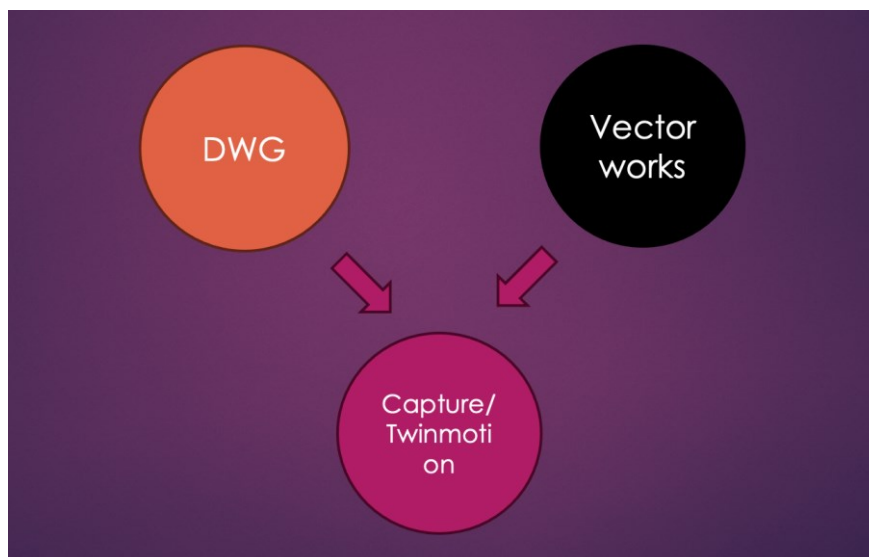
Projektien tiedostojen liikuttelu eri ohjelmien välillä nousi esiin molemmissa projekteissa. Käytännössä molempien Vectorworks-tiedostoihin oli tuotu jokin malli DWG-tiedostona, joka haluttiin siirtää kolmanteen ohjelmaan. Esimerkiksi Heineken Polar Barin mallissa Rukan rinnekartta ja Sateenkaarilavan mallissa lavarakenteet sekä festivaalialueen pohjakartta oli tuotu Vectorworksiin DWG-tiedostona. Kun malli vietiin Captureen tai Twinmotioniin, huomattiin tämän tekevän mallista raskaamman käyttää, minkä takia Vectorworksiin tuoduista DWG-pohjatiedostoista päädyttiin viemään Twinmotioniin ja Captureen vain välttämättömimmät, jotta malli toimisi ohjelmassa mahdollisimman vakaasti.

Kuvassa 16 on esitelty tiedostojen siirto, jota projekteissa käytettiin. Tällä siirtotavalla jouduttiin jättämään osa Vectorworksiin tuoduista DWG-malleista pois, kun ne siirrettiin Twinmotioniin tai Captureen, jotta malli saatiin pysymään kevyenä ja vakaana.



Kuva 18. 3D-geometriaa lisäävä tiedostojen siirto.

Mikäli kaikkia alkuperäiset Vectorworksiin tuodut DWG-mallit haluttaisiin viedä Captureen tai Twinmotioniin ja malli halutaan pitää mahdollisimman vakaana, suosittelisin tämän työn perusteella kuvan 17 mukaista tiedostojen viemistä.



Kuva 19. Vähemmän 3D-geometriaa siirtävä tiedostojen siirto.

7 Lopuksi

3D-mallintamisen hyödyntäminen esitystekniikan suunnittelussa ja työdokumentoinnin laatimisessa tehostaa esitystekniikan ja tuotantojen toteutuksia. Tämän onnistuminen edellyttää työvälineiden hallitsemista sekä mallinnuksien ja työdokumentoinnin tason määrittelemistä. Tarvittava dokumentoinnin taso vaihtelee eri tuotantojen ja toimijoiden välillä, mutta pääperiaate on, että aikaa ei mene rakennusvaiheessa suunnitteluun.

Työn tavoitteena oli luoda tietoa 3D-mallintamisesta ja työdokumentoinnista. Pyrin tekemään työn ilman yksittäiseen ohjelmistoon keskittymistä, jotta materiaali kestäisi aikaa ja sitä voitaisiin hyödyntää laajemmin. Opinnäytetyö on tiivistetty katsaus 3D-mallintamiseen ja työdokumentointiin. Halusin pitää molemmat aiheet mukana, koska koen ettei työdokumentointia voida tehdä ammattimaisesti tänä päivänä ilman 3D-mallintamista.

Mallintamisesta löytyy paljon tietoa, mutta se on harvoin tehty esitystekniikan suunnittelua varten. Usein tiedon joutuu etsimään pelien tai animaatioiden mallintamista käsittelevistä lähteistä. Esitystekniikan suunnitteluohjelmistojen tutoriaaleista ja manuaaleista löytyy hyvin tietoa, mutta nämä koskevat vain kyseistä

ohjelmaa eivätkä ole aina laajennettavissa muihin yhteyksiin. Työni pyrkii koamaan näitä tiedon palasia yhteen.

Esitystekniikan suunnittelua pystytään tekemään yksinkertaisilla mallinnustyökaluilla varsin pitkälle. NURBS- ja Subdivision-mallintamisen hallitseminen lisää suunnittelijan työkaluja sekä tehostaa mallinnustyötä, kuitenkin niiden osaamiseen ei ole välttämätöntä esitystekniikan suunnittelussa. Työkalujen hallitseminen auttaa kuitenkin ymmärtämään, mikä kaikki on mahdollista 3D-mallintamisessa ja mikä on kiinni omasta osaamisesta.

Renderöintiä tehtäessä on hyvä muistaa, että monet renderöintityökalut on laadittu varsin pitkälle vietyihin renderöinteihin, kuten pelien ja animaatioiden tekemiseen. Tästä syystä on hyvä löytää itselleen sopivat työkalut, jotka eivät ole turhan monimutkaisia omaan työhön. Renderöinnin teorian ymmärtäminen auttaa hahmottamaan renderöintityökalujen toimintalogiikkaa, koska suurin osa työkaluista perustuu samoihin asioihin. Tätä puoltaa useiden eri ohjelmistojen käyttämät samat renderöintimoottorit.

Työdokumentoinnin USITT:n ja ISO-standardien ohjeistukset on laadittu alkujaan käsin piirrettyjen dokumenttien aikakaudella, minkä jälkeen niitä on päivitetty. Nämä historian kerrokset näkyvät ohjeistuksissa, jonka takia niihin ei kannata lukkiutua liikaa, vaan pitää niitä enemmänkin tekemistä ohjaavina ja soveltaa niitä tuotannon tarpeisiin.

Jouheva useamman ohjelmistojen parissa työskentely vaatii ymmärrystä tiedostomuotojen toimivuudesta sekä ohjelmistojen toimintalogiikasta. Tämä kuitenkin helpottuu, kun yhden ohjelmiston toimintalogiikan oppii, koska ohjelmistoissa on paljon samankaltaisuuksia ja ne lainaavat toimintoja toisiltaan.

Työn luotettavuus perustuu tietopohjan osalta tutkittuun tietoon ja laajaan joukkoon lähteitä. Projektiosio on otanta kahdesta projektista, joiden toteutusta tarkastellaan yksityiskohtaisesti käytännön ongelmien kautta suhteessa tietopohjan teoriaan. Kirjoittajan kokemus työskentelystä esitystekniikan parissa voi asettaa omat näkemyksensä projektien analysointiin ja objektiivisuuteen.

Työ herätti useita jatkotutkimusaiheita. Mitä tarpeita suurilla tuotannoilla on työdokumentointiin? Miten mallintamista voidaan hyödyntää työryhmä työskentelyssä? Miten työskentelyä useiden eri 3D-ohjelmiston kanssa voi tehostaa? Toivottavasti näihin saadaan vastauksia tulevaisuudessa.

Lähteet

Adobe i.a.a. Guide to 3D rendering. Verkkosivu <https://www.adobe.com/ng/products/substance3d/discover/3d-rendering.html> (viitattu 25.2.2024)

Adobe i.a.b. DWG Files. Verkkosivu <https://www.adobe.com/creativecloud/file-types/image/vector/dwg-file.html> (viitattu 8.6.2024)

Allen, Kevin Lee 2021. Vectorworks for Entertainment Design. New York: Routledge.

Appleton, Eric 2022. Drafting Fundamentals for the Entertainment Classroom. New York: Routledge.

A23D 2022. What is 3D texturing. Verkkosivu <https://www.a23d.co/blog/what-is-3d-texturing> (viitattu 24.2.2024)

Bethany 2017. Scan2CAD. Verkkosivu <https://www.scan2cad.com/blog/cad/vectorworks-everything-need-know/> (viitattu 12.3.2024)

Burul Ahmet 2022. Coordinate System of 3D Application Guide. Verkkosivu <https://ahmetburul.medium.com/coordinate-systems-of-3d-applications-guide-ddfa2194ed88> (viitattu 19.5.2024)

Capture i.a. Verkkosivu <https://www.capture.se/Products/Capture/Design> (viitattu 12.3.2024)

Dassault Systems i.a. Subdivision modeling Verkkosivu <https://www.3ds.com/store/cad/subdivision-modeling> (viitattu 10.2.2024).

GDTF-share i.a.a. MVR. Verkkosivu <https://gdtf-share.com/help/en/help/mvr/index.html> (viitattu 8.6.2024)

GDTF-share i.a.b. Who is involved in Gdtf & MVR. Verkkosivu <https://gdtf-share.com/landing/pages/about.php> (viitattu 8.6.2024)

Humphreys Greg, Jakob Wenzel, Pharr Wenzel 2017. Physically Based Rendering, 3rd Edition. E-kirja. Cambridge: Morgan Kaufmann https://learning.oreilly.com/library/view/physically-based-rendering/9780128007099/Copyright_iv_B9780128006450500191.xhtml (viitattu 3.3.2024).

Kajiya James 1986. The Rendering Equation Verkkosivu <https://dl.acm.org/doi/10.1145/15922.15902#sec-terms> (viitattu 3.3.2024)

Nvidia Developer 2009. Ray Tracing Essentials Part 6: The Rendering Equation. Verkkovideo 22.4.2020. YouTube. 9:23. https://www.youtube.com/watch?v=AODo_RjJoUA (viitattu 3.3.2024)

Pellikka Jani 2019. Sisätilatapahtuman ennakkoon tehtävä tekninen suunnittelu. Opinnäytetyö. Helsinki: Metropolia-ammattikorkeakoulu, Esittävän taiteen

koulutus ohjelma. Verkkosivu <https://www.theseus.fi/handle/10024/171213> (viitattu 8.6.2024)

Saviranta Tommi 2018. Teatterivalojen 3D-mallinnus. Suomen kansallisooppera ja -baletti. Opinnäytetyö. Helsinki: Metropolia-ammattikorkeakoulu, Esittävän taiteen koulutus ohjelma. Verkkosivu <https://www.theseus.fi/handle/10024/146958> (viitattu 8.6.2024)

SFS-EN ISO 128-2:2022. Tekninen tuotedokumentointi. Yleiset esittämisperiaatteet. Osa 2: Perussäännöt viivatyypeille. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.

Sirainen Jaakko 2022. Jotta olisi jotain mitä muokata. Huomioita valosuunnittelijan ennakkosuunnittelusta. Opinnäytetyö. Helsinki: Taideyliopiston Teatterikorkeakoulu, valosuunnittelun koulutusohjelma. Verkkosivu <https://taju.uniarts.fi/handle/10024/7618> (viitattu 8.6.2024)

Siren Lauri 2019. Sisältä ulos vai ulkoa sisään? Havaintoja monipuolisen valosuunnittelijan työskentelytavoista sekä tapahtumien valosuunnittelusta. Opinnäytetyö. Helsinki: Taideyliopiston Teatterikorkeakoulu, valosuunnittelun koulutusohjelma. Verkkosivu <https://taju.uniarts.fi/handle/10024/6788> (viitattu 8.6.2024)

Take-off Professional 2023. Verkkosivu <https://www.takeoff-pros.com/2020/03/25/using-2d-or-3d-for-your-site-models/> (Viitattu 9.5.2024)

Twinmotion. Verkkosivu <https://www.twinmotion.com/en-US/solutions/architecture> (Viitattu 12.3.2024)

USITT (United States Institute for Theatre Technology) 2019. USITT Graphic Recommended Best Practices – Proposed. Verkkosivu <https://www.usitt.org/graphicrbp> (viitattu 9.3.204)

USITT (United States Institute for Theatre Technology) 2006. USITT RP-2, Recommended Practice for Theatrical Lighting Design Graphics-2006. Verkkosivu https://ulife.vpul.upenn.edu/dolphin/pacshop/RP-2_2006.pdf (viitattu 9.3.204)

Vaughan William 2011. [digital] Modelling. E-kirja. Berkley: New Riders https://learning.oreilly.com/library/view/digital-modeling/9780321712622/?sso_link=yes&sso_link_from=metropolia-university (viitattu 10.2.2024).

Vectorworks i.a.a. About Vectorworks. Verkkosivu <https://www.vectorworks.net/fi-FI/company> (viitattu 12.3.2024)

Vectorworks i.a.b. Braceworks. Verkkosivu <https://www.vectorworks.net/fi-FI/braceworks> (viitattu 12.3.2024)

Vectorworks i.a.c. Spotlight. Vectorworks. Verkkosivu <https://www.vectorworks.net/fi-FI/spotlight> (viitattu 12.3.2024)

Vectorworks i.a.d. ConnectCAD. Verkkosivu <https://www.vectorworks.net/fi-FI/connectcad> (viitattu 12.3.2024)

Wikipedia 2024a. Cartesian coordinate system. Verkkosivu https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Cartesian_coordinate_system&oldid=1219209938 (viitattu 8.6.2024)

Wikipedia 2024b. PDF. Verkkosivu <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=PDF&oldid=1227815006> (viitattu 8.6.2024)

Worldviz Documentation 2023. Verkkosivu https://docs.worldviz.com/vizard/latest/-/Old_Book/Understanding_Coordinate_Systems.htm%3FTocPath=Reference|Basic_Concepts|____1 (viitattu 19.5.2024)