



Juho Selenius

Infrastruktuurihankkeen havainnollistaminen hyödyntäen pelimoottoria

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tieto- ja viestintätekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

10.4.2025

Tiivistelmä

Tekijä:	Juho Selenius
Otsikko:	Infrastruktuurihankkeen havainnollistaminen hyödyntäen pelimoottoria
Sivumäärä:	49 sivua + 3 liitettä
Aika:	10.4.2025
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Tieto- ja viestintätekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine:	Pelisovellukset
Ohjaajat:	Lehtori Antti Laiho Visualisoinnin asiantuntija Jussi Vikström

Insinööriyössä tarkasteltiin infrastruktuurihankkeen esittelymallin tuottamista käyttäen Unreal Engine -pelimoottoria ja sen lisenssiin kuuluvia ohjelmistotuotteita. Tavoitteena oli arvioida, voiko pelimoottorin ja sen oheisohjelmistojen avulla luoda vaatimusten mukaisen esittelymallin ja tehostaa olemassa olevaa infrastruktuurihankkeen havainnollistamisprosessia.

Työssä selvitettiin infrastruktuurihankkeen esittelymallille asetetut vaatimukset, tarkasteltiin toimeksiantajayrityksen nykyistä havainnollistamisprosessia ja kehitettiin vastaava prosessi käyttäen pelimoottoria ja sen oheisohjelmistoja. Uuden työnkulun pohjalta toteutettiin esimerkkihankkeen esittelymalli, jonka työmäärää ja lopputuotteiden laatua verrattiin nykyiseen prosessiin. Lisäksi vertailtiin ohjelmistojen ominaisuuksia, käytettävyyttä ja lisenssikustannuksia.

Insinööriyön lopputuloksena havaittiin, että uusi työnkulku reaaliaikaista visualisointiohjelmistoa Twinmotionia käyttäen on laadultaan samantasoinen kuin nykyinen työnkulku LumenRT-ohjelmistolla, mutta työmäärä saattaa olla pienempi johtuen LumenRT:n epävakaudesta. Unreal Engine -pelimoottoria ei suositella käytettäväksi hankkeissa ennen kuin siihen on kehitetty visualisointiohjelmistojen työkaluja vastaavia komponentteja.

Avainsanat: pelimoottori, reaaliaikainen visualisointi, infrastruktuuri, havainnollistaminen, Unreal Engine, Twinmotion

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Juho Selenius
Title: Visualizing an Infrastructure Project with a Game Engine
Number of Pages: 49 pages + 3 appendices
Date: 10th April 2025

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Information and Communication Technology
Professional Major: Game Applications
Supervisors: Antti Laiho, Senior Lecturer
Jussi Vikström, Visualization Specialist

The purpose of the final year project was to examine the production of a visualization model in an infrastructure project using the Unreal Engine game engine and its associated software products. The goal was to assess if the game engine and its associated software could be used to create a visualization model that meets the requirements. Another goal was to improve the visualization process of the infrastructure project.

Requirements for the visualization model of an infrastructure project were studied, the visualization process of the client was examined and a corresponding process using the game engine and its associated software was developed. Based on the new process, a visualization model for an example project was created, and its workload and the quality of the final products were compared to the existing process. Additionally, the features, usability and licensing costs of the software were compared.

As an outcome, it was found that the new workflow using the real-time visualization software Twinmotion produced results of similar quality as the existing workflow using the LumenRT software, but the workload may be lower due to the instability of LumenRT. Unreal Engine is not recommended to be used in projects until components equivalent to the tools available in the real-time visualization software have been developed.

Keywords: game engine, real-time visualization, infrastructure, visualization, Unreal Engine, Twinmotion

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	Havainnollistaminen infrastruktuurihankkeissa	2
2.1	Tietomallit infrastruktuurihankkeissa	2
2.2	Infrastruktuurihankkeen havainnollistavat mallit	2
2.3	Havainnollistamisen merkitys ja tavoitteet	7
2.4	Havainnollistaminen eri hankevaiheissa	8
3	Nykyiset työkalut ja havainnollistamisen prosessi	10
3.1	Ohjelmistot nykyisessä havainnollistamisprosessissa	10
3.2	Yrityksen nykyinen havainnollistamisprosessi	14
3.3	Nykyprosessin vahvuudet ja heikkoudet	21
4	Uuden havainnollistamisprosessin suunnittelu	23
4.1	Pelimoottorin valinta	23
4.2	Havainnollistamisen osa-alueet uudessa prosessissa	25
4.3	Esittelymalli Unreal Engineissä	36
4.4	Esittelymallin lopputuotteet	38
4.5	Uuden prosessin suositeltu työnkulku	42
5	Nykyisen ja uuden prosessin vertailu	43
5.1	Ohjelmistojen ominaisuudet ja käytettävyys	43
5.2	Työmäärä ja lopputuotteiden laatu	45
5.3	Ohjelmistojen kustannukset	46
6	Yhteenveto	47
	Lähteet	50

Liitteet

Liite 1: Havainnetietomalli-tuotteen prosessi

Liite 2: Esittelymalli-tuotteen prosessi

Liite 3: Uusi havainnollistamisen prosessi

Lyhenteet ja käsitteet

- AR: *Augmented Reality*. Lisätty todellisuus.
- CAD: *Computer Aided Design*. Tietokoneavusteinen suunnittelu.
- DAE: *Digital Asset Exchange*. Avoin XML-pohjainen tiedostoformaatti, jota käytetään muun muassa 3D-mallien siirtämiseen eri ohjelmistojen välillä.
- DXF: *Drawing Exchange Format*. Autodeskin kehittämä tiedostoformaatti, jota käytetään CAD-suunnitelmien siirtämiseen eri ohjelmistojen välillä.
- FBX: *Filmbox*. Autodeskin omistama tiedostoformaatti, jota käytetään erityisesti 3D-mallien tallentamiseen ja siirtämiseen 3D-mallinnusohjelmistojen välillä.
- InfraBIM: *Infrastructure Building Information Modeling*. Infrastruktuurin tietomallintaminen ja siihen liittyvät määrittelyt.
- OBJ: *Object*. Wavefront Technologies -yrityksen kehittämä avoin tiedostoformaatti, jota käytetään yleisesti 3D-mallien tallentamiseen ja siirtämiseen 3D-mallinnusohjelmistojen välillä.
- SKP: SketchUp-ohjelmiston oma tiedostoformaatti, jota käytetään 3D-mallien tallentamiseen.
- VR: *Virtual Reality*. Virtuaalitodellisuus.

1 Johdanto

Useimmissa väylähankkeissa vaaditaan nykyään suunnitteluratkaisujen havainnollistamista. Havainnollistaminen on tärkeää, sillä sen avulla voidaan viestiä suunnitteluratkaisusta tehokkaasti eteenpäin eri sidosryhmille, kuten suunnittelualueen asukkaille. Havainnollistamisella on kuitenkin tärkeä rooli jo suunnitteluvaiheessa, koska havainnollistamiseen käytettävää mallia ylläpidettäessä voidaan havaita mahdollisia ristiriitoja eri suunnitteluosien kesken.

Tässä työssä tutkitaan esittelymallin tuottamista infrastruktuurihankkeelle käyttäen pelimoottoria ja sen lisenssiin kuuluvia ohjelmistotuotteita. Työ tehdään Finnmap Infra Oy:lle, joka on Solwers-konserniin kuuluva yksityinen yhdyskuntasuunnitteluun erikoistunut konsultointi- ja suunnittelu yritys. Yrityksen palvelut ovat laaja-alaiset ja käsittävät mittavasti yhdyskuntasuunnittelun osa-alueita, kuten väyläsuunnittelua, ympäristökonsultointia ja rakentamispalveluita sekä muita asiantuntijapalveluita, mikä tekee Finnmap Infrasta monipuolisen toimijan alallaan.

Työssä tutkittavaksi pelimoottoriksi valikoitui Unreal Engine, koska Unreal Enginen ohjelmistotuoteperheeseen kuuluvat myös reaaliaikainen havainnollistamisohjelmisto Twinmotion sekä fotogrammetriaohjelmisto RealityCapture. Työssä käydään läpi vaatimukset esittelymallille ja tarkastellaan toimeksiantajayrityksen nykyistä havainnollistamisen prosessia. Tämän jälkeen pelimoottorilla toteutetaan esimerkkihankkeen esittelymalli, jota verrataan nykyisellä havainnollistamisprosessilla toteutettuun malliin. Tavoitteena on tutkia, saadaanko Unreal Enginen ohjelmistotuoteperheellä tehtyä vaatimusten mukainen esittelymalli, sekä verrata uuden työnkulun työmäärää ja lopputuotteiden laatua toimeksiantajayrityksen nykyisiin käyttämään työnkulkuun. Lisäksi verrataan ohjelmistojen lisenssikustannuksia.

Lopputuloksena on esitys, joka auttaa toimeksiantajayritystä päättämään, onko havainnollistamisen työnkulkua tarpeen muuttaa ottamalla käyttöön pelimoottori nykyisen visualisointiohjelmiston tilalle.

2 Havainnollistaminen infrastruktuurihankkeissa

2.1 Tietomallit infrastruktuurihankkeissa

Nykyaikaisessa infrastruktuurihankkeessa suunnitelmat perustuvat tietomalleihin, jotka ovat digitaalisten rakennelmien kolmiulotteisia esityksiä ominaisuustietoineen. Tietomallintamista käytetään tiedon siirtymisen varmistamiseksi hankkeen sisällä lähtöaineiston hankkimisvaiheesta fyysisen rakennelman hallintavaiheeseen, koska mallintamisen on todettu vähentävän vaiheiden välillä katoavaa tietoa. [Mikä on inframalli?]

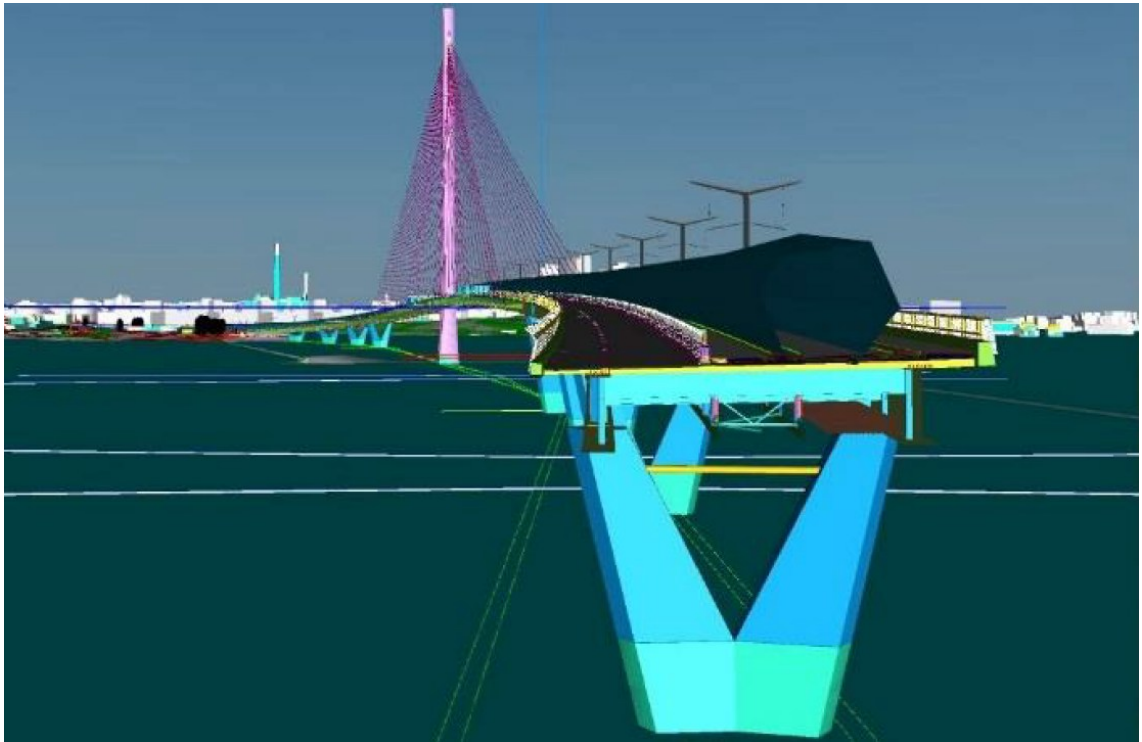
Infrastruktuurihankkeissa tietomalleja kutsutaan inframalleiksi [Yleiset inframallivaatimukset YIV 2021: 8]. Koska hankkeiden eri osapuolilla on käytössä useita eri ohjelmistoja inframallien käsittelyyn, Väylävirasto on laatinut mallien tuotannon tueksi Yleiset inframallivaatimukset -ohjeistuksen, joka pyrkii määrittelemään yksityiskohtaisesti mallien sisällön ja yhdenmukaistamaan mallien toteutuksen yhdessä InfraBIM-nimikkeistön ja tiedonsiirtoformaattien määrittelyjen kanssa.

Inframalleja käytetään moniin tarkoituksiin, kuten hankkeen havainnollistamiseen. Havainnollistaminen tarkoittaa infrastruktuurihankkeessa hankekokonaisuuden tai -osan esittämistä visuaalisesti, ymmärrettävästi ja havainnollisesti eri sidosryhmille. Sen tavoitteena on auttaa päätöksenteossa, vuorovaikutuksessa ja vaikutusten ymmärtämisessä. Hanketta havainnollistavat mallit voidaan jakaa kahteen eri kategoriaan, teknisesti havainnollistavaan yhdistelmämalliin sekä esittävästi havainnollistavaan esittelymalliin. Tässä työssä tutkitaan esittelymallin toteuttamista pelimoottorilla. [Luoma 2016: 4; Yleiset inframallivaatimukset YIV 2021: 41.]

2.2 Infrastruktuurihankkeen havainnollistavat mallit

Yhdistelmämalli havainnollistaa infrastruktuurihankkeen ratkaisuja teknisesti (kuva 1). Se kokoaa hankkeen tietomallit yhteen, jolloin mallien tietosisältöä

voidaan tarkastella virtuaalisesti yhdestä käyttöliittymästä. Yhdistelmämallin tarkoituksena on osoittaa mahdolliset epäjatkuvuudet mallien rajapinnoissa, joten se toimii erityisesti laadunvarmistustoimenpiteenä. [Yleiset inframallivaatimukset YIV 2021: 41.]



Kuva 1. Ote yhdistelmämallista hankkeesta Kruunusillat [Yleiset inframallivaatimukset YIV 2021: 41].

Yhdistelmämalli on visuaaliselta ilmeeltään pelkistetty, ja laatuvaatimukset ovat esittelymallia alemmat. Tekniikka- ja tasolajeja kuvataan niitä edustavilla ja valmiiksi sovitulla väreillä todellisten materiaalien sijasta. Yhdistelmämalli muodostetaan yleensä helpottamaan suunnittelijoiden, tilaajan, hankkeen johdon ja työmaan keskinäistä tiedonvaihtoa. [Luoma 2016: 4; Yleiset inframallivaatimukset YIV 2021: 41.]

Esittelymalli havainnollistaa infrastruktuurihankkeen ratkaisuja yhdistelmämallia visuaalisemmin, jolloin sen laatuvaatimukset ovat korkeammat. Se on suunnittelijoiden fotorealistinen näkemys hankkeen suunnitteluratkaisuista (kuva 2),

mutta siihen voidaan myös liittää toiminnallisuutta ja tietoa. [Yleiset inframallivaatimukset YIV 2021: 43.]



Kuva 2. Ote Kruunusillat-hankkeen esittelymallista [Yleiset inframallivaatimukset YIV 2021: 41].

Esittelymallissa on usein esitetty laajempi alue kuin yhdistelmämallissa. Sen tarkoituksena onkin kuvata hankkeen sijoittumista suhteessa ympäröiviin alueisiin sekä vaikutuksia luontoon ja rakennettuun ympäristöön (kuva 3). Esittelymalli voidaan tuottaa helpoimmin yhdistelmämallista, johon lisätään ympäristöä kuvaavia objekteja, kuten nykyistä maanpintaa, puustoa ja rakennuksia, sekä mallin visuaalisuutta korostavia elementtejä, kuten objektien realistisia tekstuureja, valaistusta ja tarvittaessa animointia. [Yleiset inframallivaatimukset YIV 2021: 43.]



Kuva 3. Esittelymalli osana tietomallinnusta [Yleiset inframallivaatimukset YIV 2021: 43].

Hankealueen puusto voidaan toteuttaa digitaalisesti arvioimalla olemassa olevan puuston keskikorkeus ja tiheys. Rakennukset voidaan mallintaa laatikkoina käyttäen kerroskorkeutta apuna. Jos hanke sisältää rakennetun ympäristön muutoksia, kuten olemassa olevia, poistuvia tai uusia rakennuksia, on ne selkeästi esitettävä toisistaan erottuvasti. Rakenteilla olevien talojen tietomalleja voidaan hyödyntää tarkemman tietosisällön ja ulkonäön vuoksi. Ympäristön havainnollistamiseen voidaan käyttää myös pistepilviä ja fotogrammetrisia malleja, jotka muun muassa tarkentavat esittelymallia sekä lisäävät tunnistettavuutta ja näkyvyyttä. [Yleiset inframallivaatimukset YIV 2021: 42–43.]

Puuston ja rakennusten lisäksi esittelymallia voidaan rikastuttaa muilla 3D- tai 2D-objekteilla. Tavanomaisia kolmiulotteisia objekteja ovat valaisinpylväät, pysäkkirakenteet ja liikennemerkkit. Lisäksi esittelymallien elävöittämiseen voidaan käyttää muita kolmiulotteisia objekteja, kuten kulkuneuvoja, pyöräilijöitä ja kävelijöitä, jotka voivat olla staattisia tai animoituja. Objektit ovat hyödyllisiä tarkastellessa suunnitellun ympäristön mittasuhteita ja animoituina luovat tunteen elävästä ympäristöstä ja liikkeestä, mikä auttaa rakentamaan mielikuvaa hankkeen toiminnallisuudesta. Valmiita 3D-kirjastoja hyödynnettäessä tulee luovutusvaiheessa sopia luovutetussa mallissa hyödynnettyjen objektien omistajuudesta. [Yleiset inframallivaatimukset YIV 2021: 43.]

Kaksiulotteiset rakenteet ovat 2D-viivoja ja -alueita. Ne voivat olla suunnitelma- malleja ja pintatekstuureja täydentävät kohteita, kuten ajoratamaalauksia, sekä hankkeen kannalta tärkeitä, mutta suunnitteluaineiston ulkopuolista informaatiota, kuten kaavoituksen tai paikkatiedon pistemäisiä ja aluemaiset kohteita. [Yleiset inframallivaatimukset YIV 2021: 43.]

Hyvin tärkeä osa esittelymallia ovat mallin osien pintatekstuurit, joilla kuvataan rakenteiden pintamateriaaleja. Esittelymallin siirtoformaatin on tuettava teksturointeja, jolloin tilaajalle lopputuotteena luovutettavan luovutusaineiston malli sisältää käytetyt tekstuurit. Luovutusaineistoon voidaan tallentaa myös erillinen tekstuurikirjasto, jota esittelymallissa on hyödynnetty. [Yleiset inframallivaatimukset YIV 2021: 43.]

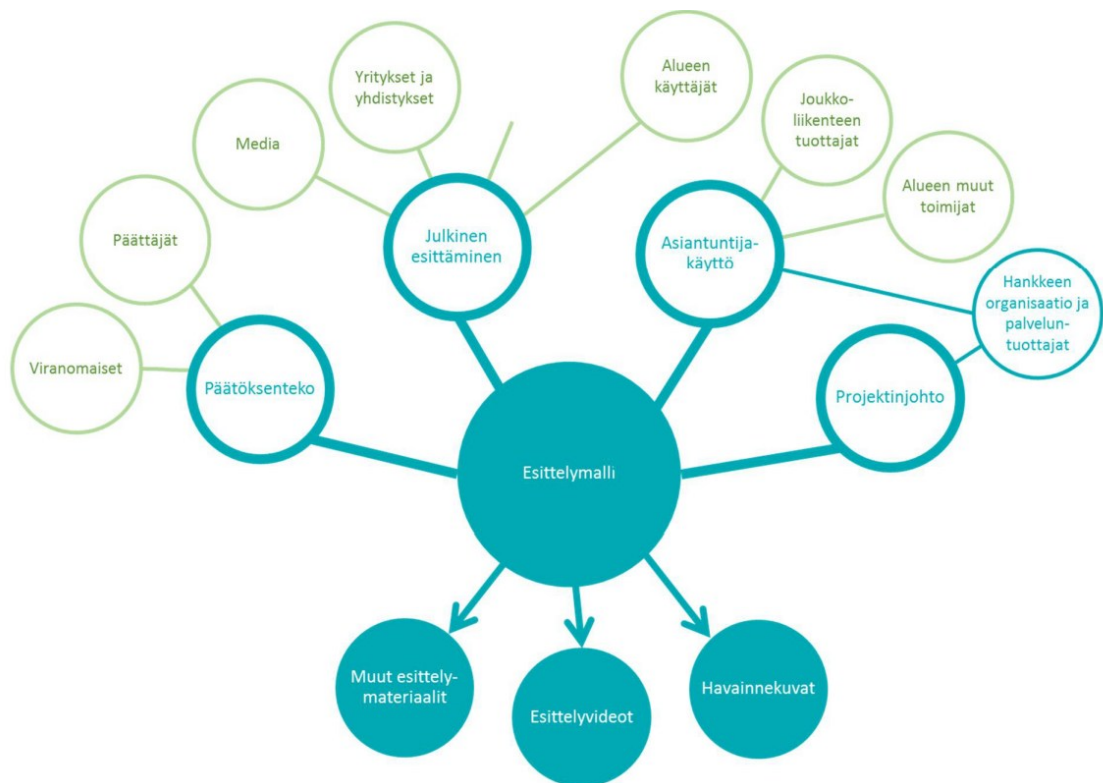
Esittelymalleihin voidaan lisäksi lisätä erilaisia toimintoja ja ominaisuuksia. Yleisimpiä ominaisuuksia ovat säätilojen sekä vuorokauden ja vuodenaikojen muuttaminen, joiden avulla voidaan tarkastella valon ja varjojen vaikutuksia perustuen oikeaan maantieteelliseen sijaintiin. Toinen usein käytetty ominaisuus on sijaintisidonnainen kommentointimahdollisuus, joka helpottaa hankkeen vuorovaikutusta ja viestintää. [Yleiset inframallivaatimukset YIV 2021: 43.]

Yleisten inframallivaatimusten YIV [2021: 43] mukaan esittelymallin tulee mahdollistaa vapaa liikkuminen ja navigoiminen mallin sisällä, jolloin käyttäjä voi päättää kuvakulman, josta mallia tarkastelee. Nikusen [2025] mukaan kyseistä ominaisuutta vaaditaan kuitenkin harvoin hankekohtaisissa sopimuksissa.

Esittelymallien julkaisu ja jakelutapa päätetään aina hankekohtaisesti. Jakelutapoja ovat itsenäinen katselupaketti tai tiettyyn ohjelmistoformaattiin sidottu tiedosto. Selainpohjainen jakelu- ja julkaisutapa on myös nykyään hyvin yleinen. Tarkasteltavan mallin lisäksi esittelymallista voidaan julkaista lisämateriaalina havainnekuvia, videoita tai 360-julkaisuja, jotka mahdollistavat myös VR- ja AR-tekniologioita hyödyntävät alustat. [Yleiset inframallivaatimukset YIV 2021: 43–44.]

2.3 Havainnollistamisen merkitys ja tavoitteet

Esittelymallin merkitys hankkeen viestinnässä ja vuorovaikutuksessa on suuri, ja sen tuottamisessa on otettava huomioon kohderyhmät (kuva 4). Viranomaiset ja päättäjät käyttävät esittelymallia päätöksenteossaan. Asiantuntijat, kuten joukkoliikenteen tuottajat ja alueen muut toimijat, voivat käyttää esittelymallia toiminnassaan. Hankkeen organisaatio ja palveluntuottajat käyttävät esittelymallia projektinjohtotehtävissään. Esittelymallilla on myös tärkeä osuus hankkeen julkisessa esittämisessä eri sidosryhmille, kuten medialle, alueen käyttäjille sekä yrityksille ja yhdistyksille. [Yleiset inframallivaatimukset YIV 2021: 44.]



Kuva 4. Esittelymallin liittyminen hankkeen viestintään ja vuorovaikutukseen [Yleiset inframallivaatimukset YIV 2021: 44].

Skaalandin ja Piteran [2021: 179] norjalaisille infrastruktuurikonseille teettämän kyselytutkimuksen mukaan kolmiulotteiset esittelymallit loivat sidosryhmille paremman käsityksen hankealueella olemassa olevan tilanteen muuttumisesta ja työnaikaisesta tilanteesta kuin perinteiset hankkeiden esitystavat, kuten

tekniset piirustukset, luonnokset ja kartat (taulukko 1). Esittelymallit kasvattivat tutkimuksen mukaan myös sidosryhmien kiinnostusta osallistua hankkeiden julkiseen päätösprosessiin sekä heitä koskevan projektin vuorovaikutustoimintaan verrattuna perinteisin esitystavoin [Skaaland & Pitera 2021: 180].

Taulukko 1. Kyselytutkimuksen tulokset havainnollistamistavan vaikutuksesta hankkeen ymmärtämiseen ja osallistumiseen [Skaaland & Pitera 2021: 180].

Missä määrin koet, että perinteiset, 3D- ja VR/AR-havainnollistamismenetelmät johtavat julkisen osallistamisen prosessissa:				
Havainnollistamistapa	Parempaan ymmärryksen nykytilanteen muutoksesta	Parempaan ymmärryksen tehtävistä toimenpiteistä	Parempaan osallistumishaluun	Vahvempaan sitoutumiseen
Perinteinen	3.56	3.18	2.96	3.03
3D	4.19	4.42	3.84	3.92
VR/AR	3.99	4.17	3.72	3.81
<i>Asteikolla 1-5 (1 = vähän, 5 = paljon)</i>				

Tutkimuksessa täytyy huomioida, että kyselyt on tehty alan asiantuntijoille eikä sidosryhmille, kuten alueen asukkaille, yrittäjille ja yhdistyksille. Voidaan kuitenkin olettaa, että kokeneet asiantuntijat pystyvät aistimaan yleisötilaisuuksissa ja muissa vuorovaikutustilanteissa, ymmärretäänkö esitetyt asiat vai ei. Vaikka kyselyt osoitettaisiin suoraan sidosryhmille, voisi vastaajilla olla paine vastata ymmärtäneensä paremmin tilaisuuden sisältö välttyäkseen myöntämästä ymmärtämättömyyttään.

2.4 Havainnollistaminen eri hankevaiheissa

Esittelymallin sisältö ja tarkkuus määräytyvät hankevaiheen edellyttämän suunnitelma- ja tietosisällön laajuuden ja tarkkuuden mukaan. Infrastruktuurihankkeen hankevaiheet ovat

- esisuunnitelma- ja tarveselvitysvaihe
- hanke- ja yleissuunnitelmavaihe
- viranomaiskäsittelyvaihe (tie-, rata-, katu- ja puistosuunnitelmavaihe)
- rakentamissuunnitelmavaihe
- rakentamisvaihe
- ylläpitovaihe. [Yleiset inframallivaatimukset YIV 2021: 46.]

Esisuunnitelmavaiheessa suunnitelmissa tehdään vaihtoehtovertailuja ja esitetään suunnitelmaratkaisut yksinkertaistettuina viiva- ja aluemalleina, joiden korkeussijainti ei ole tarkkaan määritelty. Suunnitelman tarkoituksena on tarkastella hankkeen laajuutta ja vaikutuksia ympäröivään infrastruktuuriin ja luontoon. Tuotettavat mallit ovat luonnosmaisia ja toimivat yleispiirteisen tarkastelun pohjana sidosryhmien välillä. Esittelymallissa esitetään hankealueen ympäristön nykytilanne sekä havainnollistetaan mahdollisesti aiemmin tehtyjä suunnitelmia tai hankittuja paikkatietoja hankkeen tarpeen mukaisesti. Ympäristö luodaan sopivalla tarkkuustasolla avoimien tai hankkeen aineistojen perusteella. Suunnitelmatieto esitetään usein 2D-viivoja tai pintoihin lisättäviä rasterikuvia käyttäen. [Yleiset inframallivaatimukset YIV 2021: 46.]

Hanke- ja yleissuunnitelman tarkoituksena on esittää olennaiset suunnitelmaratkaisut ja ehdotukset tilanvarauksille. Hanke- ja yleissuunnitelmavaihe on havainnollistamisen kannalta hyvin tärkeä vaihe, koska suunnitelmiin haetaan hyväksyttävyyttä. Vaiheen aikana vaihtoehtovertailujen havainnollistaminen ja sidosryhmätyöskentely korostuvat. Esittelymallin sisältö tarkentuu suhteessa esisuunnittelu- ja tarveselvitysvaiheeseen, sillä väylien linjaukset ja etenkin korkotasot suunnitellaan tarkemmin ja yhteydet ympäristöön selkiytyvät. [Yleiset inframallivaatimukset YIV 2021: 46.]

Viranomaiskäsittelyvaihe on sidosryhmätyöskentelyn kannalta tärkein vaihe, sillä siinä määritetään tien lähialueen asukkaille merkittäviä yksityiskohtia, kuten liittymien katkaisut, liittymiset uusiin väyliin sekä melusuojaukset, ja se antaa oikeuden alueiden haltuunottoon ja väylien tekemiseen [Tiesuunnitelma 2022]. Suunnitelma laaditaan, käsitellään ja hyväksytään lain mukaisesti, joten sidosryhmillä on mahdollisuus esittää suunnitelmasta muistutuksia [Tiesuunnitelma

2022]. Hankevaiheessa väylät suunnitellaan paikoilleen geometrisesti tarkasti, muttei vielä virheettömästi. Esittelymallissa hyödynnetään luotuja suunnitelma-malleja, jotka yhdistyvät nykyiseen väyläverkostoon sulavasti. Viranomaiskäsitelyvaiheen esittelymalli sopii tarkkuudeltaan yleisötilaisuuksiin, ja siitä voidaan julkaista videoita sekä havainnekuvia. [Yleiset inframallivaatimukset YIV 2021: 46–47.]

Rakentamissuunnitelmavaiheessa luodaan infrastruktuurin rakentamisen mahdollistava suunnitelma, joten ratkaisut tulee olla virheettömiä. Esittelymallin pohjana käytetään edellisen vaiheen mallia. Siihen tehdään lisäyksiä vain, jos suunnitteluratkaisut ja niiden vaikutukset ympäristöön ovat merkittävästi muuttuneet. Rakentamissuunnitelmavaiheessa on yleensä sidosryhmien osapuolina vain infrastruktuurihankkeiden ammattilaisia, jolloin havainnollistamisen merkitys vähenee. [Yleiset inframallivaatimukset YIV 2021: 47.]

Rakentamis- ja ylläpitovaiheissa esittelymallin merkitys vähenee entisestään. Sitä voidaan hyödyntää työnaikaisessa tai poikkeustilanteiden, kuten työnaikaisen liikennejärjestelyjen, käyttöönoton koulutusten tai pelastusviranomaisten koulutustilanteiden, viestinnässä ja tiedottamisessa. Ylläpitovaiheen havainnollistamista ei juurikaan vielä käytetä, mutta sille yritetään keksiä uusia käyttötarkeitä. [Yleiset inframallivaatimukset YIV 2021: 47.]

3 Nykyiset työkalut ja havainnollistamisen prosessi

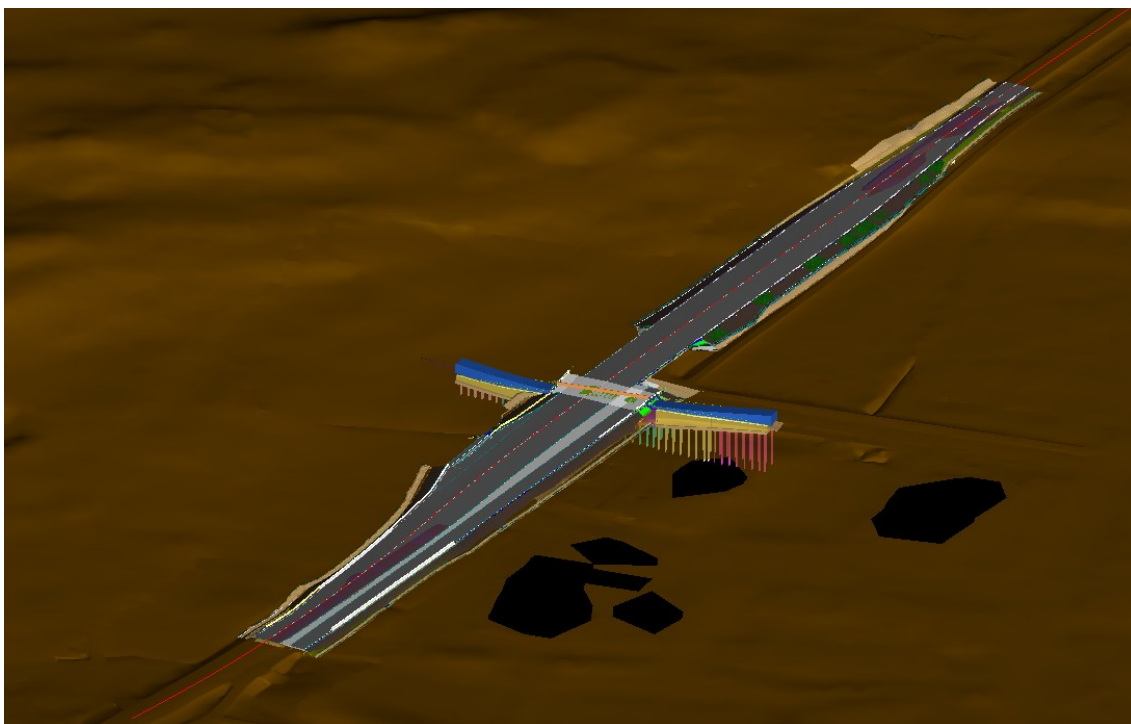
3.1 Ohjelmistot nykyisessä havainnollistamisprosessissa

Suunnitteluohjelmisto nykyisessä prosessissa

Finnmap Infrassa suunnittelun pohjana on CAD-ohjelmisto Bentley OpenRoads Designer. Se on tie- ja katuhankkeisiin kehitetty suunnitteluohjelmisto, joka on suunnattu infrastruktuurihankkeissa toimiville insinööreille, suunnittelijoille ja arkkitehdeille. OpenRoads Designerin tavoitteena on yhdistää yhteen työkaluun koko infrastruktuurihankkeen suunnitteluelinkaaren eri vaiheiden suunnittelu

luonnosteluvaiheesta rakentamiseen saakka kadottamatta tietoa elinkaaren aikana. Sen tärkeimmät ominaisuudet ovat tietomallipohjainen suunnittelu, dynaaminen suunnittelu sekä kattavat analysointi- ja muokkaustyökalut erilaisille aineistoille. [OpenRoads Designer – Roadway Design Software.]

OpenRoads Designer perustuu 3D-mallintamiselle (kuva 5), jota ohjelmisto hyödyntää hankkeissa vaadittavien 2D-aineistojen tuottamiseen. Vanhoissa suunnitteluohjelmistoissa työnkulku oli päinvastoin; ensin luotiin 2D-materiaali, jonka perusteella koottiin 3D-mallit. Mallintaminen mahdollistaa myös tarkan suunnittelun ja yhteensopivan tiedonsiirron eri osapuolten välillä. Mallintamista nopeutamaan on OpenRoads Designeriin kehitetty dynaaminen suunnittelu, jonka avulla suunnitelmiin voidaan tehdä interaktiivisesti välittömästi päivityviä muutoksia. Kattavat työkalut ja laajasti tuetut tiedostomuodot auttavat suunnittelun laadun varmistamisessa, lähtöaineiston analysoimisessa ja hyödyntämisessä sekä jakamisessa hankkeen muille osapuolille. [OpenRoads Designer 2021: 1.]



Kuva 5. Päätien ja alikulkukäytävän 3D-mallit suunnitteluohjelmiston 3D-näky-
mässä tiesuunnitelmahankkeesta Maantien 120 (Vihdintie) parantaminen Niip-
perintien liittymän kohdalla.

Tärkein OpenRoads Designerilla tehtävä osa infrastruktuurihankkeissa on aiemmin mainittu inframalli. Hankkeen suunnitelmavaiheiden, kuten yleis-, tie- ja rakentamissuunnitelman, aikana niistä voidaan käyttää myös nimitystä suunnitelmamalli. Suunnitelmamalleja tehdään kaikista infrastruktuurihankkeesta suunniteltavista rakenteista, kuten väylistä, silloista ja vesien hallinnan verkostoista. Esittelymallin kannalta väylät ja sillat ovat tärkeämpiä kuin maanalaiset rakenteet, sillä esittelymalli kuvaa tulevaa valmista tilannetta maanpinnan piilottaessa maanalaiset osuudet alleen.

Pilvipohjainen jakelualusta nykyisessä prosessissa

Finmap Infrassa käytetään kevyen esittelymallin julkaisemiseen Bentley OpenCities Planner -ohjelmistoa, joka on pilvipohjainen suunnitelmien esittelysovellys ja jakelualusta. Se mahdollistaa CAD-ympäristössä luotujen mallien esittämisen selaimessa ja mobiililaitteissa ilman lisäsovellusten asennusta (kuva 6). [OpenCities Planner 2020.]



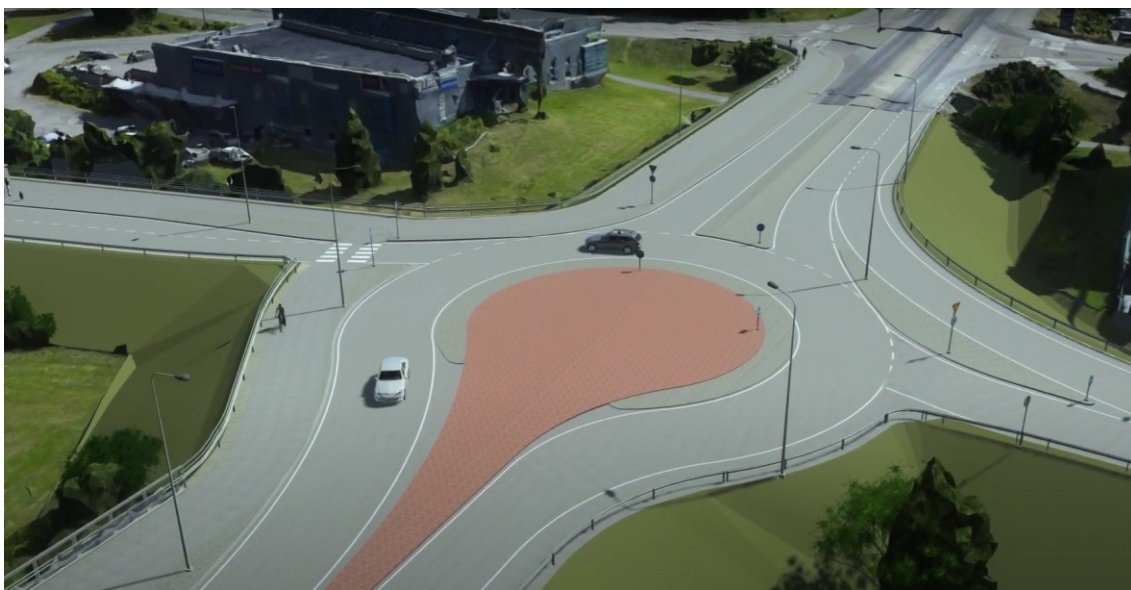
Kuva 6. OpenCities Plannerilla tehdyn kevyen esittelymallin selainkäyttöliittymä [Kt 50 (Kehä III) parantaminen, vaihe 3, rakennussuunnitelma].

OpenCities Plannerilla julkaistua mallia voidaan käyttää myös palautteiden keräämisessä sidosryhmiltä sekä suunnitelman kommentoinnissa, koska selainkäyttöliittymään voidaan sisällyttää palautteenantotyökalu. Käyttäjä voi työkalun

avulla antaa palautetta suunnitelmasta ja malleista helpottaen sidosryhmien kanssa käytävää vuoropuhelua. Suunnitelmasta klikataan tarvittaessa kohtaa, josta halutaan antaa palautetta, jolloin käyttöliittymään avautuu palautelomake. Lähetetyn lomakkeen tiedot tallentuvat OpenCities Plannerin taustajärjestelmään. [OpenCities Planner 2020: 1–2; Form Builder.]

Reaaliaikainen havainnollistamisohjelmisto nykyisessä prosessissa

Lopullisen esittelymallin tekemiseen käytetään Finnmap Infrassa Bentley'n ohjelmistotuoteperheen LumenRT-ohjelmistoa. Se on reaaliaikaisen visualisoinnin eli havainnollistamisen ohjelmisto, joka on kehitetty toimimaan BIM- ja CAD-tiedostojen kanssa ja luomaan hankkeisiin eläviä digitaalisia ympäristöjä sekä immersiota. LumenRT:llä pystyy tuottamaan korkealaatuisia kuvia ja videoita (kuva 7) sekä itsenäisiä interaktiivisia 3D-esityksiä, joita Bentley kutsuu LiveCubeiksi. [Bentley LumenRT – Real-Time Visualization Software.]



Kuva 7. Kuvakaappaus hankkeen Kantatien 51 parantaminen Munkkullan eritasoliittymän kohdalla esittelymallin videosta.

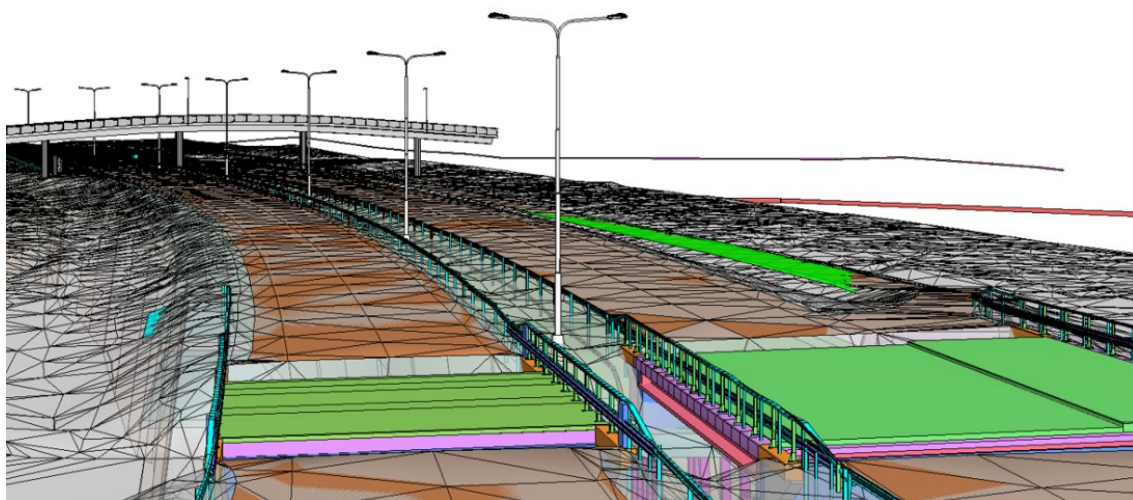
Ohjelmisto sisältää työkaluja, joilla voi rikastuttaa digitaalista mallia, kuten valmiiden animoitujen mallien lisääminen, kasvillisuuden maalaaminen pintoihin sekä vuoden- ja vuorokaudenaikojen säätäminen. LumenRT:n animoitujen

mallien kirjastosta löytyy muun muassa ajoneuvoja, ihmisiä ja eläimiä. Ohjelmistossa on myös kirjasto kasvillisuusmalleille, joita voi lisätä maalaamalla esittelymallin pintoihin. Vuoden- ja vuorokaudenaikoja voi säätää helposti liukusäätimillä. Vuodenaika vaikuttaa lisäksi kasvillisuuteen, kuten puiden lehtiin, jotka kellastuvat syksyllä ja putoavat talvella pois. [Bentley LumenRT – Real-Time Visualization Software.]

3.2 Yrityksen nykyinen havainnollistamisprosessi

Finnmap Infran havainnollistamisen lopputuotteet poikkeavat hieman Yleisissä inframallivaatimuksissa esitetyistä lopputuotteista. Yritys on markkinointitarkoituksessa jakanut suunnitelmiansa havainnollistamisen kolmeen eri tuotetasoon: Tietomalli-, Havainnetietomalli- sekä Esittelymalli-tuotteisiin [Visualisointi]. Havainnetietomalli-tuotteen prosessikuvaus on esitetty liitteessä 1 ja Esittelymalli-tuotteen prosessi liitteessä 2.

Finnmap Infran Tietomalli-tuote on visualisointitasoltaan kevyin (kuva 8). Tuotekuvauksen mukaan se on visualisoitu suunnitelman tekninen aineisto 3D-muodossa, mutta siinä ei esitetä visuaalisesti realistista ympäristöä. Tietomalli-tuotetta voisikin verrata inframallivaatimusten yhdistelmämalliin, eikä se sellaisenaan riitä havainnollistamaan suunnitelmaa kaikille sidosryhmille. [Visualisointi.]



Kuva 8. Esimerkki Tietomalli-tuotteesta [Visualisointi].

Havainnetietomalli-tuote on kevytmuotoinen esittelymalli (kuva 9). Sen pohjana toimii Tietomalli-tuotetason yhdistelmämalli, johon on lisätty visuaalisempaa ilmettä sekä todenmukaista ympäristöä. Havainnetietomalli-tuotteen avulla suunnitelmaa voidaan tarkastella Tietomalli-tuotetta havainnollisemmin ja oikeassa kontekstissa. Havainnetietomalli-tuote ei tuotekuvauksen mukaan sisällä väylätekniikan lisäksi muita tekniikkalajeja, kuten liikenteenohjausta ja istutuksia, joten tuotetta voi ajatella rikastamattomana esittelymallina. Lopputuotteena tilaajalle luovutetaan suunnitelmasta selainpohjainen OpenCities Plannerilla tuotettu malli sekä havainnekuvat. [Visualisointi.]



Kuva 9. Esimerkki Havainnetietomalli-tuotteesta [Visualisointi].

Havainnetietomalli-tuotteen kokoaminen aloitetaan suunnittelun alussa haettavista lähtötiedoista. Tärkein lähtötieto tuotetta varten on maanpinnan todenmukainen 3D-esitys eli maastomalli, koska kaikki väyläsuunnittelu tapahtuu suhteessa olemassa olevaan maanpintaan. Maastomalli voidaan luoda suunnittelujärjestelmään useista eri lähteistä, jotka voidaan luokitella epätarkkoihin, puolitarkkoihin ja tarkkoihin lähteisiin. [Visualisointiprosessi 2024.]

Epätarkat lähteet, kuten Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineisto, kuvastavat maanpintaa karkealla tasolla, eikä niitä voi käyttää tarkempaa suunnittelua vaativien suunnitteluvaiheiden eli tie- ja rakentamissuunnitelmien laatimisessa pääasiallisena maanpintatietona. Puolitarkat lähteet, kuten kuvauskopterilla tehty ilmakuvauksaineisto ja siitä fotogrammetrisesti jalostettu malli eli todellisuusmalli (kuva 10), ovat myös liian epätarkkoja tie- ja rakentamissuunnitelmien maastomalleiksi. On kuitenkin huomattu, että todellisuusmalli hyödyttää suunnittelua muutenkin kuin maanpintatietona, koska se havainnollistaa usein suunnittelijalle tieympäristössä sijaitsevia rakenteita kolmiulotteisessa tilassa paremmin kuin muut lähtötiedot. [Visualisointiprosessi 2024.]



Kuva 10. Kuvakaappaus hankkeen Valtatie 23 parantaminen todellisuusmallista [Vt 23 Karvio – 9.10.2019].

Tarkat lähteet, kuten maastomittausmallit, tehdään tilaamalla maaston mittaukset juuri kyseistä hanketta varten. Havainnetietomalli- ja Esittelymalli-tuotteissa käytetään usein edellä mainittujen lähteiden yhdistelmää. [Visualisointiprosessi 2024.]

Maanpintatiedot eri lähteistä yhdistetään OpenRoads Designerissa yhdistetyksi maastomalliksi, joka kolotaan suunniteltujen väylä- ja siltamallien perusteella. Koloaminen tarkoittaa maanpinnan kolmioinnin poistamista väylä- ja siltamallien kohdalta, jolloin maastomallin keskelle jää kolo, johon väylä- ja siltamallit istutetaan lopullisessa tuotteessa. [Visualisointiprosessi 2024.]

Väylämallit kootaan OpenRoads Designerissa yhteen koontitiedostoon. Mal-leista piilotetaan rakenteet, joita ei haluta näyttää, ja esiin jääville rakenteille määritellään materiaalit. Sama tehdään siltamalleille omaan siltamallien koonti-tiedostoon. [Visualisointiprosessi 2024.]

Yhdistetty ja kolottu maastomalli sekä visualisointia varten valmistellut väylä- ja siltamallit kootaan OpenRoads Designerissa havainnetietomallitiedostoon, jossa mallille ja sen kaikille osille tehdään lopullinen tarkastus. Tarkastuksen jälkeen tiedosto siirretään OpenCities Planneriin, jonka kautta malli julkaistaan. Havain-nekuvat voidaan ottaa joko OpenRoads Designerissa tai OpenCities Planne-rissa. [Visualisointiprosessi 2024.]

Esittelymalli-tuote on Finnmap Infran monipuolisin visualisointituote, joka pyrkii todenmukaisuuteen. Se kattaa väylämallien lisäksi muiden tekniikkalajien mal-leja, kuten liikenteenohjauksen ja valaistuksen rakenteita sekä suunniteltuja is-tutuksia. Tuotteessa on myös rikastettu mallin ympäristöä erilaisilla elementeillä, kuten ympäristöolosuhteilla ja animoiduilla väylien käyttäjillä (kuva 11). [Visuali-sointi.]



Kuva 11. Esimerkki Esittelymalli-tuotteesta [Visualisointi].

Esittelymalli-tuote kootaan samalla prosessilla kuin Havainnetietomalli-tuote. Suurin ero Havainnetietomalli-tuotteen prosessiin on muiden kuin väylätekniikan tekniikkalajien 2D-suunnitelmien muuttaminen 3D-muotoon. Yleisimmät Esittelymalli-tuotteessa havainnollistettavat tekniikkalajit väylä- ja siltatekniikan lisäksi ovat valaistustekniikka, kiinteä liikenteenohjaus sekä maisemasuunnittelu. Näiden lisäksi usein lisätään myös tiesuunnittelun muita rakenteita, kuten aitoja, pysäkkejä ja puomeja. [Visualisointiprosessi 2024.]

Esittelymalli-tuotteessa tulee olla kolmiulotteisessa muodossa esitettynä hankealueen rakennukset, jotka lisätään myös OpenRoads Designerilla [Visualisointiprosessi 2024]. Havainnetietomalli-tuotteessa 3D-rakennuksia ei oletusarvoisesti esitetä, mutta tilaajan kanssa voidaan sopia poikkeuksesta [Nikunen

2025]. Olemassa olevien rakennusten 3D-tiedot saadaan Maanmittauslaitoksen Rakennukset 3D -aineistosta, joka sisältää Rakennus-kohdeluokan kolmiulotteisia ilmentymiä 3D-vektoreina tuotettuna automaattisesti Maanmittauslaitoksen maanmittausaineistosta [Rakennukset 3D]. Maanmittauslaitoksen aineisto ei kata koko Suomen rakennuskantaa, joten puuttuvat rakennukset joudutaan mallintamaan käsin käyttäen hyväksi muuta lähtöaineistoa tai tietolähteitä, kuten ilmakuvia [Nikunen 2025].

Esittelymalli-tuotteen osat yhdistetään OpenRoads Designerissa yhteen koonti-tiedostoon, joka siirretään Bentley LumenRT -ohjelmistoon viimeistelyä ja rikastamista varten (kuva 12). Siirtäminen voi tapahtua kahdella eri tavalla. Ensimmäinen tapa on siirtää OpenRoads Designerin malli suoraan LumenRT-ohjelmistoon siirtoon tarkoitettua painiketta painamalla tiedostossa, jossa on kaikki halutut objektit koottuna. Tätä tapaa käytetään, kun esittelymalliin ei odoteta tehtävän muutoksia enää OpenRoads Designerin puolella. [Visualisointiprosessi 2024.]



Kuva 12. Maasto- ja väylämallit LumenRT:n käyttöliittymässä.

Toinen tapa siirtää mallit on linkittää LumenRT-projekti ja OpenRoads Designerin suunnitelmamallit dynaamisesti, jolloin malleihin tehtävät muutokset

välittyvät heti yhdistettyyn LumenRT-projektiin. Tämä tapahtuu hyödyntäen Bentley'n ProjectWise-ohjelmistoa, joka toimii pilvipohjaisena dokumenttien hallintajärjestelmänä OpenRoads Designerin ja LumenRT:n välillä. [Visualisointiprosessi 2024.]

Bentley LumenRT:n puolella ensimmäinen työvaihe on tarkastaa tuodun mallin osien sijainti sekä yhdistyminen suhteessa toisiinsa. Kun tuodun malliaineiston laatu on varmistettu, voidaan sitä rikastaa LumenRT:n tarjoamilla elementeillä. Tärkeimmät rikastuselementit ovat pintamateriaalien määrittäminen, kasvillisuuden lisääminen sekä animoidut objektit. [Visualisointiprosessi 2024.]

OpenRoads Designerissa on malleille määriteltynä yksinkertaisia materiaaleja, mutta LumenRT:n omat monipuolisemmat materiaalit luovat esittelymalliin enemmän todentuntua. Tärkeimpiä määritettäviä materiaaleja ovat asfalttimateriaali tien päällysteelle, nurmimateriaali nurmetuskohtiin ja metallimateriaali tien varusteille, kuten valaisinpylväille tai tiekaiteille. LumenRT tarjoaa myös sisäänrakennetun työkalun kasvillisuuden lisäämiseen. Kasvillisuuden sijoittaminen paikkoihin, joissa niitä todellisuudessa on, helpottaa toimenpiteiden hahmottamista sidosryhmissä. Pintamateriaalien ja kasvillisuuden lisäksi animoidut objektit, kuten jalankulkijat, pyöräilijät ja moottoriliikenne, ovat tärkeitä elementtejä infrastruktuurihankkeen havainnollistamisessa. Ne elävöittävät esittelymallia ja osaltaan osoittavat tiettyjen väylien käyttötarkoituksen. [Vikström 2025.]

Edellä mainittujen elementtien lisäksi LumenRT:ssä todentuntua voidaan lisätä asettamalla valoihin valonlähteet ja ympäristöön vesipintoja, jos hanke sijaitsee järvien, jokien tai purojen alueella. LumenRT:ssä voidaan myös säätää säätilaa ja auringon asentoa sekä lisätä tilääniä elävöittämään esittelymallia. Näitä rikastuskeinoja käytetään kuitenkin harvemmin, koska niiden työläisyys suhteessa realismiin ja immersion lisäykseen on suuri. [Nikunen 2025.]

3.3 Nykyprosessin vahvuudet ja heikkoudet

Nykyisen havainnollistamisprosessin suurin vahvuus on saman ohjelmistoperheen sisäinen työkulku. Kun koko työ tehdään saman yrityksen ohjelmistojen sisällä, tiedostomuodot ovat yhteensopivia, tiedon katoaminen ohjelmistojen välillä on vähäistä ja ongelmatilanteita esiintyy harvemmin kuin eri valmistajien ohjelmistoja käytettäessä. [Nikunen 2025.]

Toinen vahvuus ilmenee luotaessa esittelymallia ProjectWisen kautta dynaamisesti. Tällöin mallien päivittyessä koko esittelymallia ei tarvitse rikastaa alusta alkaen uudelleen, vaan muutokset päivittyvät LumenRT:n puolelle automaattisesti. [Nikunen 2025.]

Dynaamisessa esittelymallissa on myös heikkoutensa. Automaattisesti päivittyvään esittelymalliin ei voi asettaa tarkempia materiaalimäärittelyjä suunnitelmallin osille, kuten päällysteelle, sorapientareelle tai sisäluiskalle. Tällöin OpenRoads Designerissa määritetyt yksinkertaiset materiaalit jäävät näkyviin lopullisessa esittelymallissa, mikä heikentää visualisoinnin realismia. Tämän lisäksi ProjectWisen yhteyksissä on havaittu ongelmia, jolloin linkitykset OpenRoadsin ja LumenRT:n tiedostojen välillä ovat katkenneet väliaikaisesti tai pysyvästi. [Nikunen 2025.]

Esittelymallin päivittämisessä on ilmennyt muitakin ongelmia. Jos suunnitelmalli siirtyy sivuttaissuunnassa, mallista vietävän objektin origo eli nollapiste muuttuu, koska se lasketaan objektin reunoihin perustuvan tilavuuden keskipisteestä. Päivitys, jossa malli siirtyy vaakasuunnassa, johtaa origon sijainnin muutokseen, eikä objekti enää ilmaannu samaan paikkaan visualisointiohjelmistoon vietäessä. Tätä on pyritty ratkaisemaan lisäämällä suunnitelmalliin vaakasuuntainen koko suunnitelman kattava nelikulmiotaso, joka sijaitsee aina samassa kohtaa. Näin vietävä objekti säilyttää origonsa aina samassa sijainnissa vaakasuunnassa, muttei pystysuunnassa. Lisäksi LumenRT:ssä lisätyt rikastuselementit, kuten kasvillisuus ja animoidut objektit, ovat joissain tilanteissa muuttaneet sijaintia, kun esittelymallia on päivitetty. [Nikunen 2025.]

Toiseksi heikkoudeksi on osoittautunut animoitujen objektien lisääminen esittelymalliin LumenRT:ssä. Liikkuvien objektien lisääminen tuntuu tekevän mallista liian raskaan, mikä on johtanut siihen, että LumenRT ei pysty luomaan esittelymallista vaadittavaa exe-suoritustiedostoa. Sama toistuu niin dynaamisesti kuin staattisesti luoduilla projekteilla. [Nikunen 2025.]

Lisäksi ongelmia on ollut ilmakuviin laadun säilyttämisessä ja todellisuusmallin koloamisessa. OpenRoads Designer huonontaa maanpinnan päälle projisoitavan ilmakuviin laatua. Nykyisessä prosessissa ongelma on ratkaistu viimeistelmällä maanpinnan malli Bentley ConceptStation -konseptisuunnitteluohjelmistossa, josta saadaan vietyä maanpinta 3sm-tiedostoformaattissa. 3sm on Bentleyn oma tiedostoformaatti skaalattaville monikulmioverkoille ja formaatti mahdollistaa ilmakuviin projisoimisen maanpintaan sekä kuvalaadun säilymisen. [Nikunen 2025.]

Todellisuusmallin koloamisen ongelma on, että todellisuusmalliin suunnitelmallien kohdalle tehtävän kolon reunalle jäävät puut leikkautuvat keskeltä, koska suunnitelmallien reunat hakevat maanpintaa (kuva 13). Tämä johtaa tilanteeseen, jossa esittelymallin käyttäjä näkee todellisuusmallin alle metsäisissä reunakohdissa, jolloin mallin immersio katoaa. Ongelmaa on pyritty paikkaamaan viemällä todellisuusmalli Autodesk 3ds Max -3D-mallinnus- ja animointiohjelmistoon, jossa todellisuusmallin kolon reunapisteitä on pudotettu tarpeeksi, jotta mallien reunakohdasta ei näe kummankaan alle. Tämä korjausprosessi on kuitenkin koettu raskaaksi ja aikaa vieväksi. [Nikunen 2025.]



Kuva 13. Kuvakaappaus kolotusta todellisuusmallista metsän kohdalla.

LumenRT:n kasvillisuuden lisäystyökalun käytössä on ollut haasteita. Metsien reunojen halutaan usein olevan tiheitä ja näyttäviä, mutta kasvillisuustyökaluilla ei saa säädettyä kasvien asettamisen tiheyttä. Tämän vuoksi todellisuudessa tiheätkin metsät ja varsinkin niiden reunat jäivät hyvin harvoiksi, mikä vähentää sekä mallin näyttävyyttä että todenmukaisuutta. [Nikunen 2025.]

4 Uuden havainnollistamisprosessin suunnittelu

4.1 Pelimoottorin valinta

Havainnollistamisprosessin toteutusta päätettiin tutkia Unreal Engine -tuoteperheen ohjelmistoilla. Kyseiseen pelimoottoriin ja sitä tukeviin ohjelmistoihin päädyttiin, koska se on tunnettu korkeasta visuaalisesta laadustaan ja sitä tiedetään käytettävän havainnollistamistarkoituksessa laajemmin esimerkiksi arkkitehtuurihankkeissa. Lisäksi Unreal Engine -lisenssi sisältää myös Twinmotion-visualisointiohjelmiston sekä RealityCapture-fotogrammetriaohjelmiston, jonka tarkempi tutkiminen prosessin osana päätettiin rajata työn ulkopuolelle.

Koska Twinmotionissa ja LumenRT:ssä on paljon samankaltaisuuksia, se haluttiin sisällyttää prosessin tarkasteluun. Todettiin myös, että Twinmotionin käyttö

esittelymallin valmisteluun ennen mallin siirtoa pelimoottoriin tehostaisi todennäköisesti prosessia ja samankaltaisuus LumenRT:n kanssa voisi nopeuttaa uuden ohjelmiston oppimista esittelymalleja luovilla työntekijöillä.

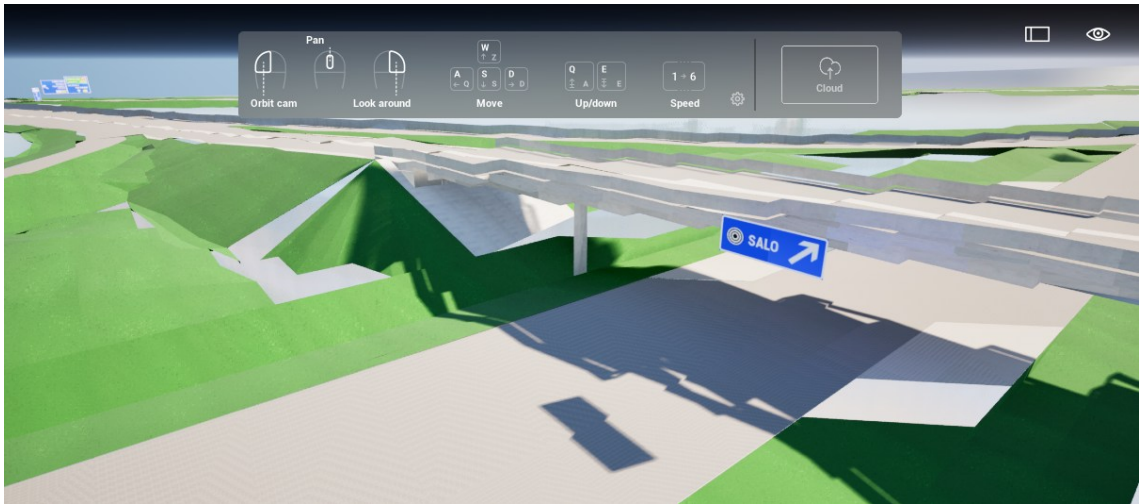
Finnmap Infrassa on aiemmin kokeiltu Unity-pelimoottorin käyttöä hankkeiden havainnollistamisessa, mutta kokemukset eivät olleet tyydyttäviä. Visuaalista laatua ei pidetty tarpeeksi hyvänä eikä pelimoottorin työkaluja helppoina ja intuitiivisina. Twinmotionin tuomien hyötyjen ja Unreal Enginen visuaalisen painotuksen lisäksi pelimoottori tarjoaa useita ilmaisia sisäänrakennettuja todentuntuisuutta, immersiota ja visuaalista suorituskykyä lisääviä ominaisuuksia ja työkaluja, kuten Nanite-teknologiaa, Quixel Megascans -integraation ja Lumen-valaistus- ja heijastusjärjestelmän.

Nanite on Unreal Engine 5:een lisätty dynaaminen yksityiskohtaisuuden tasojärjestelmä (Level of Detail), joka mukauttaa mallin yksityiskohtaisuutta automaattisesti kameran etäisyyden mukaan [Nanite Virtualized Geometry]. Quixel Megascans on Unreal Enginen ja Twinmotioniin liitetty laaja kirjasto, joka sisältää fotorealistisia 3D-malleja, materiaaleja ja tekstuureita [Quixel Megascans]. Lumen on Unreal Engine 5:n dynaaminen yleismaailmallinen valaistus- ja heijastusjärjestelmä [Lumen Global Illumination and Reflections]. Yhdessä nämä teknologiat mahdollistavat havainnollistamisprosessin tehokkaamman, sujuvamman ja visuaalisesti vaikuttavamman toteuttamisen, mutta etenkin Nanite ja Lumen ovat vaativampia oppia.

4.2 Havainnollistamisen osa-alueet uudessa prosessissa

Väylämallit

OpenRoads Designerin ja Twinmotionin yhteisesti tukemat geometriatiedostotyytit ovat FBX-, OBJ-, DAE-, DXF- ja SKP-tiedostot. Kaikki tiedostotyytit eivät kuitenkaan tuntuneet olevan kokeilun perusteella täysin yhteensopivia. Isoimpia ongelmia aiheutti SKP-tiedostotyyppi, joka kaatoi Twinmotionin aina, kun sitä yritti lukea ohjelmistoon. DAE ja DXF-formaateilla oli samanlaisia ongelmia, kuten kuvassa 14 esiintyvää monikulmioverkon laadun huonontumista ja sijainnin vaihtelua.



Kuva 14. Kuvakaappaus DAE-tiedostoformaattilla kirjoitetusta väylämallista Twinmotionissa.

Twinmotion luki OBJ-tiedoston ongelmitta, mutta tiedonsiirron aikana osa monikulmioverkoista oli yhdistynyt toisiinsa ja osassa oli pinnan normaalit väärinpäin. Nämä ongelmat voi korjata 3D-mallinnusohjelmistossa, mutta se tuo prosessiin yhden työvaiheen lisää. Lisäksi OBJ-tiedostossa eivät säilyneet OpenRoads Designerissa asetetut yksinkertaiset tekstuurit, joita voi käyttää Twinmotionissa ja Unreal Engineissä monimutkaisempien materiaalien pohjana.

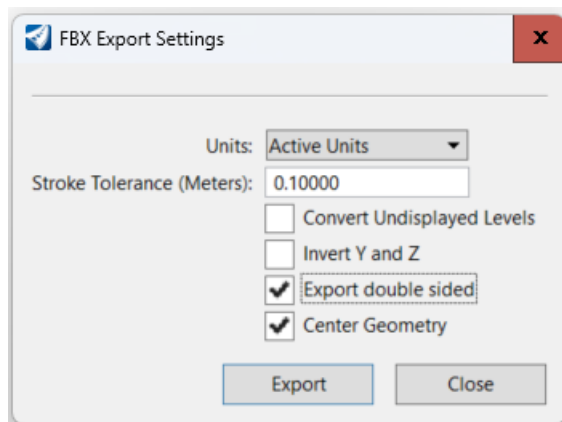
FBX-tiedosto sen sijaan siirtyi OpenRoads Designerista Twinmotioniin sellaisena kuin haluttiin. Mallien sijainti oli joka lukukerralla sama, eikä monikulmioverkoissa ollut havaittavissa epäjohdonmukaisuuksia tai laadun heikkene- mistä. Monikulmioverkot oli yhdistetty OpenRoads Designerissa asetetun materiaalin mukaan, ja mallien tekstuuritkin siirtyivät mukana. Jokainen verkko nime- tään tuotaessa oletusnimellä Mesh, mikä hankaloittaa jonkin verran monikulmio- verkkojen muokkaamista. Materiaalin mukainen ryhmittely toimii kuitenkin muilta osin hyvin, koska tällöin kaikki monikulmioverkot voidaan asettaa samalla käyt- tämään yhteisesti Twinmotionissa tai Unreal Engineessä tehtyä materiaalia.

Toinen ongelma mallien kirjoittamisessa ulos OpenRoads Designerista ja luke- misessa Twinmotioniin tai Unreal Engineen on FBX-mallin koordinaatiston nol- lapisteen eli origon sijainti. Tarkastelun jälkeen havaittiin, että OpenRoads De- signer asettaa kirjoitettavan FBX-tiedoston origon kirjoittamishetkellä olevan ik- kunanäkymän keskipisteeseen vaakasuunnassa ja myös pystysuunnassa, jos käytössä on ortogonaalinen eli ylhäältä suoraan alas kohdistuva ikkunanäkymä.

Helpompi ratkaisu on tehdä OpenRoads Designerissa mallien kirjoittamiselle oma tyhjä tiedosto, johon tuo ulos kirjoitettavat mallitiedostot lähde- eli referens- sitiedostoiksi. Tämän jälkeen mallitiedostoja siirretään saman verran koordinaa- tistossa lähelle tiedoston nollapistettä, jolloin nollapisteen sijaintia on helpompi hallita.

FBX-tiedoston vientiasetukset on esitetty kuvassa 15. Koska referenssitiedos- toissa piilotetaan tarkoituksella turhat tasot, ei Convert Undisplayed Levels -va- lintaa käytetä muuntamaan piilotettuja tasoja. Invert Y and Z -asetusta voi käyt- tää muuttamaan Y- ja Z-akselien paikat mallissa, mutta silloin täytyy käyttää eri tuontiasetuksia Twinmotionin ja Unreal Enginen puolella akselimäärittelyssä. Kun asetus on pois päältä, käytetään Twinmotionin tuontiprosessissa Y down - asetusta. Export double sided -valinta kirjoittaa ulos mallin sisä- ja ulkopinnat, joten asetus on hyvä pitää päällä, koska väylämalleissa saattaa joskus olla pin- nan normaalit väärinpäin. Näkymäratkaisussa tulee muistaa FBX-tiedoston

vientiasetuksissa laittaa Center Geometry -valinta päälle ja siirtoratkaisussa pois päältä.



Kuva 15. OpenRoads Designerin FBX-tiedoston vientiasetusvalikko.

Twinmotioniin tuotujen mallien päivittäminen onnistuu korvaamalla päivitetyn mallin FBX-tiedosto resurssienhallinnassa uudella ja painamalla Twinmotionin Import- eli Tuonti-ikkunassa Refresh-päivityspainiketta. Jos mallin tiedostonimi tai sijainti on muuttunut, tulee päivittämiseen käyttää Reimport with new file - työkalua. [Importing Geometry.]

Tarkastelujen perusteella väylämallien muutokset kannattaa tehdä aina samanimiseen OpenRoads Designerin DGN-tiedostoon. Näin päivittäessä FBX-tiedosto visualisointiohjelmistoon Twinmotionissa asetetut materiaalit säilyvät. Jos väylämallien FBX-tiedosto tehdään OpenRoads Designerissa erinimisestä tiedostosta kuin aiempi FBX-malli, materiaalit palautuvat Twinmotionissa OpenRoads Designerissa asetettuihin materiaaleihin, vaikka FBX-tiedoston tiedostonimi olisi sama.

Maanpinta

Maanpinnan kanssa suurin ongelma on ilmakuvienv projisoiminen pintaan. Hanke saattaa sisältää ilmakuvia useilla eri laaduilla ja tiedostoformaateilla, jolloin kuvat on yhdistettävä. Varsinainen ongelma on, että maanpintaan

projisoitava kuva halutaan mahdollisimman hyvälaatuisena, jolloin tiedostokoko voi olla kuvan kattaman alueen laajuudesta riippuen valtava.

Esimerkkiprojektissa on kolme ilmakuvaa. Kaksi JP2-muotoista kuvaa on ladattu Maanmittauslaitoksen avoimesta tiedostopalvelusta, ja niiden tarkkuus on 0,5 m/pikseli. Kolmas ilmakuva on saatu hankkeen tilaajalta ECW-tiedostomuodolla ja on tarkkuudeltaan 0,05 m/pikseli. Maanpinnan alue, joka ilmakuvien tulisi kattaa, on lähes 600 ha. Kuvien yhdistämiseen käytettiin ilmaista avoimen lähdekoodin QGIS-paikkatieto-ohjelmistoa, jolla voi luoda, muokata ja analysoida karttoja [QGIS Overview].

Nykyisessä prosessissa maanpintamallin luomiseksi esittelymalliin käytetään aiemmin mainitun mukaisesti Bentleyyn ConceptStation -konseptisuunnitteluohjelmistoa, jolla ilmakuva voidaan projisoida laajankin maanpintamallin päälle melko vaivattomasti. Tämän lisäksi ConceptStationin tuottama 3sm-muotoinen skaalattava kolmioverkko muuntuu FBX-muotoon niin, että sekä maanpinnan monikulmioverkko että projisoitu ilmakuvatekstuuri pilkotaan ohjelman luoman ruudukon mukaisesti nelikulmaisiiin paloihin.

Osiin pilkkominen on tärkeää, koska ohjelmistot, tiedostomuodot ja tietokoneiden laitteistot eivät välttämättä pysty käsittelemään suurikokoisia kuvatiedostoja tai piirtotarkkuuksia. Esimerkiksi enintään 8192 × 8192 pikselin kuvakokoja suositellaan käytettävän Unreal Engineassa, koska näytönohjaimet eivät välttämättä tue isompia tekstuureita [Textures]. Esimerkkiprojektin yhdistetty ilmakuva on laajuudeltaan 21552 x 48967 pikseliä, joten sitä ei suositella käytettäväksi sellaisenaan.

Koska työn tavoitteena on etsiä vaihtoehtoisia työtapoja esittelymallin luomiseksi käyttämättä OpenRoads Designer pois lukien Bentleyyn ohjelmistoja, on tässä työssä tutkittu maanpintamallin luomista ilmaisella kuvankäsittelyohjelmalla GIMP:lla ja 3D-mallinnus- ja animointiohjelmisto Blenderillä. Ensin TIFF-muotoinen yhdistetty ilmakuva muunnettiin GIMP:lla JPG-muotoiseksi, jolloin kuvan tiedostokoko pienenee huomattavasti. Tämän jälkeen maastomallin FBX-

tiedosto tuotiin Blenderiin, jossa siihen projisoitiin muutettu ilmakekuva. Ilmakekuvan UV-kartoitus kolmiulotteiseen maanpintaan ei kuitenkaan ole helppoa, koska se täytyy tehdä käsin. Lisäksi kuvan lopullisen sijainnin tarkkuus saattaa kärsiä lopputuloksessa.

Ilmakekuvan projisoinnin jälkeen maanpinnan kolmioverkko ja ilmakekuvatekstuuri pitää pilkkua ruudukkomaisiksi palasiksi, kuten 3sm-tiedoston FBX-tiedostossa-kin. Tämä onnistuu Blenderissä luomalla taso-objekti, josta tehdään muuntimilla (Modifier) halutun kokoinen ruudukko. Ruudukon perusteella maanpinnan kolmioverkko erotetaan omiksi kolmioverkoiksi (kuva 16).



Kuva 16. Ruudukon perusteella jaettu maanpinnan monikulmioverkko Blenderissä.

Työssä päädyttiin toteuttamaan Ilmakekuvatekstuurin pilkkominen kuvankäsittelyohjelmalla manuaalisesti ja projisoimalla pilkotut kuvat pilkotun monikulmioverkon palasiin. Tämä on kuitenkin erittäin työlästä. Blenderissä on mahdollista luoda omia työkaluja ja liitännäisiä, joten niiden avulla jatkokehityksessä

prosessin automatisoiminen on suositeltavaa. Tätä työnkulkua ei kuitenkaan tutkittu tarkemmin tässä työssä.

Pintamateriaalit

OpenRoads Designerista tuodussa FBX-tiedostossa on yksinkertaiset pintamateriaalit. Twinmotionissa tulee korvata suurin osa näistä materiaaleista Twinmotionin monipuolisesti muokattavilla ohjelmiston materiaalikirjastosta saatavilla ilmaisilla materiaaleilla. Yleisimmät korvattavat materiaalit ja niiden esiintymiskohteet mallissa on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Mallien yleisimmin korvattavat materiaalit ja niiden esiintymiskohteet.

Korvattava materiaali	Esiintyminen mallissa
Asfaltti	Tien asfalttipäällyste
Nurmi	Nurmetettavat alueet (mm. luiskat ja maastonmuotoilut)
Betoni	Sillat, reunatuet ja betonikaiteet
Louhittu kalliopinta	Kalliroleikkaus
Kiveys	Kivetyt välialueet ja saarekkeet
Metalli	Valaisinpylväät, kaiteet ja liikenteenohjauksen pylväät ja portaalit
Valkoinen maali	Liikenteenohjauksen ajoratamerkinnot
Sora	Tien sorapäällyste ja sorapiennar

Twinmotionissa materiaalit kannattaa päivittää ohjelmiston Materials- eli Materiaalit-ikkunan kautta, jolloin OpenRoads Designerista siirtyneiden materiaalien nimiä voi hyödyntää kyseisen materiaalin tunnistamisessa. OpenRoads Designerin materiaalit nimetään FBX-muunnoksessa kuitenkin CAD-tasojen tai materiaalin nimen mukaan, jolloin tuotujen materiaalien nimet eivät välttämättä kuvaa kyseistä materiaalia kovin hyvin. Yksi tapa paikallistaa materiaali on valita kyseinen materiaali Materiaalit-ikkunasta ja säätää sen värisävyn tummuusasteen

liukusäädintä. Näin mallinäkömystä huomaa, mikä monikulmioverkko tottelee säädintä ja muuttaa väriään tumman ja vaalean välillä.

Twinmotionissa on laaja kirjasto ilmaisia materiaaleja. Ohjelmistoon voi lisäksi ladata Epic Gamesin Fab-kauppapaikalta tai Twinmotionin Megascans-työkalun kautta lisää materiaaleja. Taulukossa 3 on esitetty ehdotukset korvaaviksi materiaaleiksi.

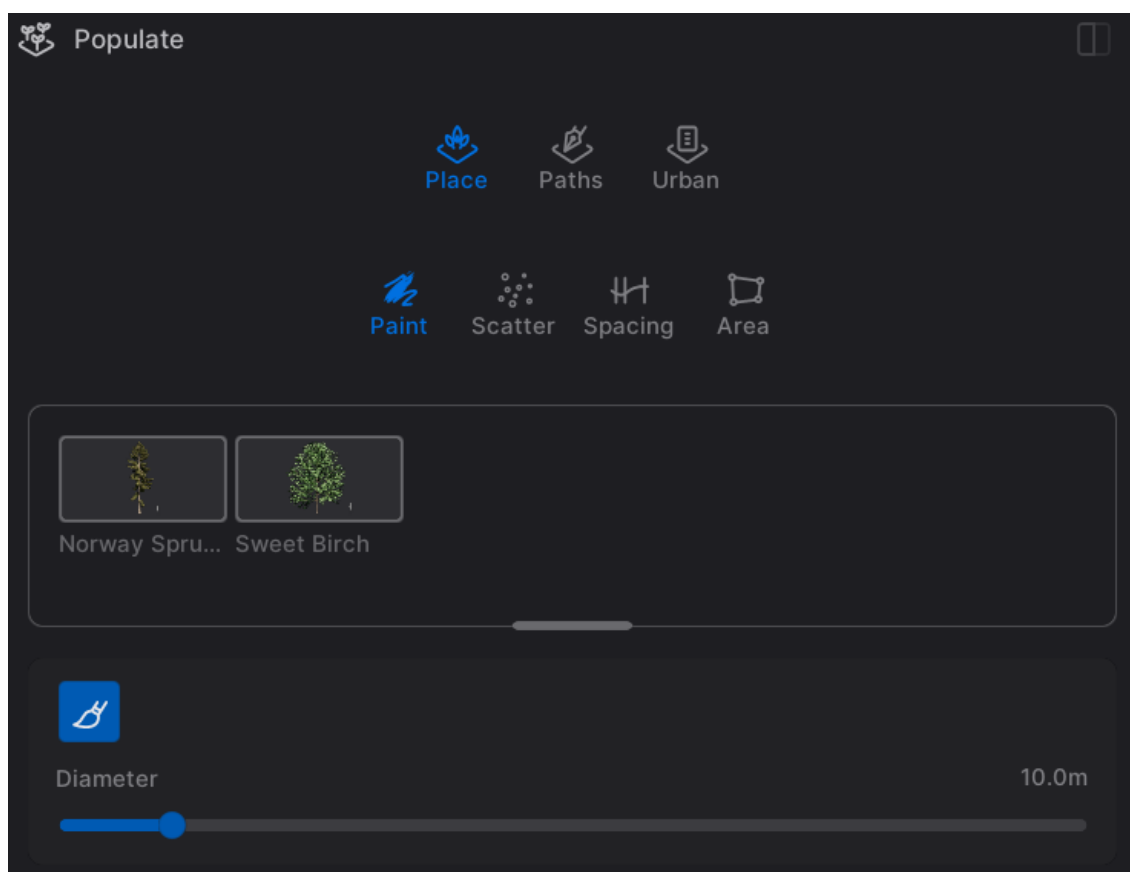
Taulukko 3. Ehdotukset korvaaviksi materiaaleiksi Twinmotionissa.

Korvattava materiaali	Korvaava materiaali Twinmotionin kirjastosta
Asfaltti	Asphalt 1
Nurmi	Grass 1
Betoni	Striated concrete 02
Louhittu kalliopinta	Forest Rock Wall (Megascans-kirjastosta)
Kiveys	Brics cobblestone
Metalli	Sandblasted 01
Valkoinen maali	Painted Wall Plaster (Megascans-kirjastosta)
Sora	Gravel

Uuden tekstuurin lisäksi materiaalissa kannattaa materiaalin UV-kohdassa ottaa käyttöön Local space -asetus, joka projisoi tekstuurin pintaan käyttäen monikulmioverkon omaa asentoa, sekä Randomize UV -asetus, joka satunnaistaa tekstuurin UV-koordinaatteja vähentäen toistuvien kuvioiden esiintyvyyttä [Settings for Standard Materials]. Lisäksi voi olla tarpeen muuttaa tekstuurin värisävyä (Tint), kiertoa (Rotation) tai mittakaavaa (Scale). Materiaalilla on myös monia muita ominaisuuksia, joita tarvittaessa voi säätää, mutta todettiin, että edellä mainitut ominaisuudet tekevät materiaaleista jo tarpeeksi näyttäviä havainnollistamistarkoitukseen. On suositeltavaa tallentaa käytetty muokattu materiaali käyttäjän omaan kirjastoon (User library) siltä varalta, että FBX-mallia päivittäessä Twinmotion kadottaa yhteyden monikulmioverkolle asetettuun materiaaliin.

Kasvillisuus

Twinmotionissa voi rikastaa mallia kasvillisuudella samaan tapaan kuin LumenRT:ssä. Kasvillisuutta voi lisätä valitsemalla Twinmotionin alapalkista Täytä-valikon (Populate), joka on esitetty kuvassa 17. Täytä-valikosta valitaan Sijoita-valinta (Place) aktiiviseksi, jolloin pääsee valitsemaan kasvillisuuden sijoittamistapaa.



Kuva 17. Twinmotionin Sijoita-valikko.

Kasvillisuuden sijoittamistapoja ovat Maalaus (Paint), Sirotus (Scatter), Välistys (Spacing) ja Alue (Area). Jokaisessa sijoittamistavassa saa itse valita, mitä kasviobjekteja käyttää. Twinmotionin kirjastosta voi raahata haluamansa objektit työkalun objektivarantoikkunaan, jolloin työkalu satunnaistaa valittujen kasviobjektien käyttöä, mikä tekee kasvillisuuden lisäämisestä todentuntuisemman.

Maalaus-työkalulla voi nimensä mukaisesti maalata kasvillisuutta esittelymallin pinnoille. Sirotus-työkalulla voi lisätä valitsemaansa kasvillisuutta satunnaisesti yhden monikulmioverkon alueelle. Sirotuksen voimakkuutta eli kasvillisuuden tiheyttä voi lisätä tai vähentää valitsemalla työkalulle haluttu tila. Sirotettua kasvillisuutta voi myös pyyhkiä pois samaan tapaan kuin Maalaus-työkalulla lisätään. Välistys-työkalulla voi piirtää osoittamiensa pisteiden kautta käyrän, jonka varrelle valittu kasvillisuus satunnaistetaan, ja Alue-työkalulla voi määrittää osoittamiensa pisteiden kautta alueen, jolle valittu kasvillisuus luodaan.

Näiden tapojen lisäksi kasvillisuutta voi liittää malliin myös yksitellen raahaamalla Twinmotionin kasvillisuuskirjastosta kasviobjekteja suoraan malliin. Tätä tapaa tulee käyttää, jos tarvitsee yhden tietyn kasvin juuri tietylle paikalle. Kasvillisuutta tulisi lisätä esittelymalliin aina hankkeen ympäristösuunnitelmissa mainituille sijainneille tai alueille suunnitelmissa mainittuja kasveja. Näin suunnitelmat ja esittelymalli eivät ole ristiriidassa keskenään.

Animoidut komponentit

Twinmotionin Täytä-valikosta löytyy myös helppokäyttöinen Reitit-työkalu (Paths), jonka avulla esittelymalliin voi lisätä esimerkiksi animoituja jalankulkijoita, pyöräilijöitä tai moottoriajoneuvoja. Työkalu valitaan, jonka jälkeen mallista voi osoittaa valitsemilleen animoiduille objekteille reitin (kuva 18).



Kuva 18. Kuvakaappaus Twinmotionin Reitit-työkalulla tehdystä reitistä autoille.

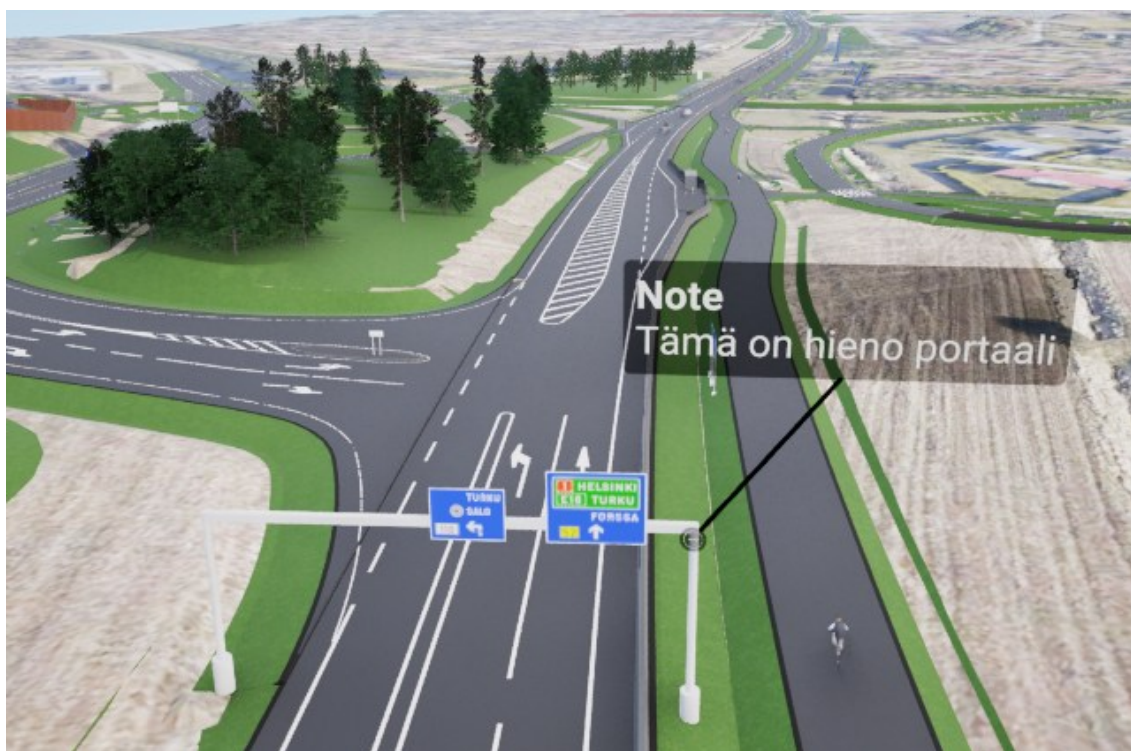
Työkalu tunnistaa esittelymallista monikulmioverkon osoitetulta kohdalta ja projisoi verkon pintaan reittisolmun, jota havainnollistetaan ohjelmassa pisteellä. Alustavan piirtämisen jälkeen reittiä voidaan muokata raahaamalla pisteitä mallissa tai lisäämällä uusi piste niiden väliin jäävästä rastista.

Reitin ominaisuuksia voi lisäksi muuttaa. Jalankulkijareitin (Character path) ominaisuuksia ovat jalankulkijan etnisen ryhmän tyyppi, kuten afrikkalainen, aasialainen tai eurooppalainen, pukeutumistyyli, kävelyreitien leveys ja jalankulkijoiden tiheys. Pyöräilijäreitin ominaisuuksia ovat pyöräilijöiden tiheys ja ajonopeus, joiden lisäksi reitin voi merkitä kaksisuuntaiseksi ja kääntää vastakkaisen suuntaiseksi. Ajoneuvoreitin (Vehicle path) ominaisuuksia ovat kaistojen määrä, liikenteen tiheys sekä nopeus. Ajoneuvojen ajosuunnan voi myös kääntää vastakkaiseen suuntaan. Jos kaistoja valitsee useampia, voi kaistojen etäisyyttä toisistaan muuttaa ja merkitä kaksisuuntaiseksi liikenteeksi.

Muut komponentit

Valaistusta, säätilaa ja ääniä ei yleensä hyödynnetä esittelymalleissa pois lukien auringon valo, jota Twinmotionissa hallitaan ympäristöasetuksista. Havainnekuviissa ja -videoissa pyritään usein esittämään hanketta päiväaikaan, jolloin esimerkiksi valaisinpylväät eivät reaali maailmassakaan olisi päällä. Erittäin pilvisellä ilmalla tai sadekelillä valaistuksesta voisi olla hyötyä, mutta esittelymallin markkinoinnillisesta luoteesta johtuen ihmisten ikäviksi kokemia säätiloja ei tavallisesti mallissa hyödynnetä.

Ympäristön äänet voisivat kuulua videoissa, mutta niihin lisätään tavallisesti musiikkia esittelymallin ulkopuolella jälkikäsitteilynä. Twinmotion tarjoaa Muistiinpanot-työkalun (Notes), jota voidaan hyödyntää varsinkin havainnevideoissa. Muistiinpanot-työkalua voidaan käyttää korostamaan tai antamaan lisätietoa jostakin hankkeen osasta, kuten kuvan 19 esimerkissä.



Kuva 19. Esimerkki Muistiinpanot-työkalun käytöstä Twinmotionissa.

Twinmotionin Muistiinpanot-työkalulla saa lisättyä muistiinpanon haluttuun pintaan. Muistiinpanon tekstilaatikosta lähtee viiteviiva, jonka toinen pää kiinnittyy pinnan monikulmioverkkoon. Muistiinpanosta saa muokattua otsikko- ja leipätekstin sekä valittua tekstin tasauksen. Lisäksi muistiinpanosta saa säädettyä kokoa ja taustan väriä. Muistiinpanosta saa laitettua myös päälle asetuksen, joka kääntää muistiinpanon aina kameraan päin.

4.3 Esittelymalli Unreal Engineessä

Jotta Twinmotionin esittelymalli voidaan siirtää Unreal Engineen jatkojalostusta varten, on pelimoottorista aktivoitava Datasmith Importer -liitännäinen, jonka avulla Unreal Engine tunnistaa muissa ohjelmistoissa luotuja esivalmisteltuja ympäristöjä ja monimutkaisia resursseja Datasmith-tiedonsiirtoformaatin kautta [Datasmith]. Kun liitännäinen on asennettu Unreal Engineen ja pelimoottorissa on luotu uusi tyhjä projekti, voidaan Twinmotion-projekti viedä Export to Datasmith file -työkalulla Datasmith-tiedostomuotoon. Twinmotion tarjoaa kaksi vientitapaa: standardoitu (Standardized) ja optimoitu (Optimized). Optimoitua vientiä suositellaan käytettävän suurissa projekteissa. [Overview of the Twinmotion to Unreal Engine Workflow.]

Optimoitu vientitapa luo samanlaiselle objektille yhteisen perusmonikulmioverkon ja perusmateriaalin, josta objektia monistetaan sen instansseina eli ilmentyminä. Tämä vähentää muistin ja suorittimen käyttöä ja parantaa suorituskykyä. Standardoitu vientitapa luo jokaiselle objektille oman monikulmioverkon ja materiaalin, mikä kasvattaa tiedostokokoa ja voi heikentää suorituskykyä. Tapaa kuitenkin tarvitaan, jos yksittäisiä objekteja halutaan muokata, esimerkiksi niiden satunnaistamiseksi. [Overview of the Twinmotion to Unreal Engine Workflow.]

Ennen Datasmith-tiedoston tuomista Unreal Engineen pitää valita, mitä tason mallipohjaa (Level Template) käytetään. Tason mallipohja on valmiiksi määritelty pohja tasolle, joka voi sisältää valmiiksi erilaisia komponentteja, kuten valaistusta, maastoa tai kameran. Jos hankealue on pieni ja yhtenäinen, on syytä käyttää Unreal Enginen Basic-mallipohjaa, koska pelimoottori pystyy

todennäköisesti käsittelemään koko aluetta kerralla. Jos hankealue on laaja tai hajanainen, on suositeltavaa käyttää maailman ositusta (World Partition) hyödyntävää Open World -mallipohjaa, johon on asetettu maailman osituksen asetukset valmiiksi. Maailman ositus lataa pelimaailman sellaiset osat, jotka ovat kameran näkyvissä, ja piilottaa kameranäkymän ulkopuoliset osat säästäten muistia ja suorituskykyä. Tarvittaessa myös Basic-mallipohjaan saa aktivoitua maailman osituksen. [World Partition.]

Kun Unreal Engineissä on Datasmith Importer -liitännäinen aktivoituna ja uusi taso luotuna mallipohjasta, voidaan Twinmotionista viety Datasmith-tiedosto tuoda pelimoottoriin painamalla Luo-painiketta (Create) ja valitsemalla Datasmith-kohdasta tiedoston tuonti (File Import). Tämä aukaisee tuontiasetusten ikkunan, josta voi valita, minkä tyyppisiä asioita halutaan tuoda. Vaihtoehtoina on geometriat (Geometry), materiaalit ja tekstuurit (Materials and Textures), valot (Lights), kamerat (Cameras), animaatiot (Animations) ja valaistuskartta (Lightmap). Unreal Engine ei kuitenkaan tue Twinmotionin jalankulkija-, pyöräilijä- ja ajoneuvoreittejä, joten reitit ja niihin animoidut tienkäyttäjät eivät siirry sellaiseen Twinmotionista, vaan täytyy rakentaa pelimoottorin puolella tarvittaessa uudelleen. [Twinmotion to Unreal Engine Workflow.]

Twinmotionissa ympäristöön lisätyn kasvillisuudenkin kanssa esiintyy yleensä ongelma tuodessa Datasmith-tiedosto pelimoottoriin. Kasvillisuus näkyy harmaana pelkistettyinä objekteina, joiden päällä lukee Invalid Lightmap Settings eli kelvottomat valaistuskartta-asetukset (kuva 20).



Kuva 20. Unreal Engine kadottaa Twinmotionista tuotujen kasvillisuusobjektien valaistuskarttojen asetukset.

Valaistuskarttojen asetukset korjaantuvat tallentamalla taso ja avaamalla Unreal Engine uudelleen. Tämän jälkeen kasvillisuusobjektit kuitenkin näyttävät edelleen harmailta matalamonikulmioisilta malleilta. Valaistuskarttojen lisäksi kasvillisuusobjektien monikulmioverkoista pitää muokata yksityiskohtaisuusasetuksia (Level of Detail, LOD) tai asettaa yksityiskohtaisuuden automaattisesti laskeva Nanite-teknologia päälle.

4.4 Esittelymallin lopputuotteet

Esittelymallista saatavat lopputuotteet ovat havainnekuvat ja -videot, itsenäinen interaktiivinen esittelymalli eli exe-tiedosto sekä selainpohjainen malli. Havainnekuvia ja -videoita sekä itsenäisiä interaktiivisia esittelymalleja voidaan tuottaa niin Twinmotionista kuin Unreal Enginestakin.

Twinmotionissa havainnekuvat ja -videot on yksinkertaista luoda. Mallinäky-
mässä navigoidaan kohtaan, josta halutaan ottaa kuva, avataan Media-valikko

ja Kuva-työkalu (Image) ja painetaan painiketta, joka on merkitty plus-symbolilla. Tämä luo Twinmotion-projektiin uuden kuvan pohjautuen kyseisen hetken kameranäkymään.

Havainnevideon muodostaminen toimii Twinmotionissa samankaltaisella tavalla. Media-valikosta valitaan Video-työkalu, jolla lisätään havainnevideon avainkehysiä (Key Frames) samaan tapaan kuin Kuva-työkalulla kuvia. Näiden avainkehysten välille Twinmotion luo automaattisesti kameraliikkeen ja muodostaa lopullisen videon.

Itsenäisen interaktiivisen esittelymallin luominen onnistuu Twinmotionissa myös Media-valikosta löytyvällä Esitys-työkalulla (Presentation). Esitystä varten on oltava projektiin tallennettuna ainakin yksi kuva- tai videonäkymä, joka valitaan esitykseen. Vaikka käyttäjä voi esityksessä liikkua vapaasti ympäri esittelymallia, valitut kuvat ja videot toimivat esivalmisteltuina näkyminä. Nämä näkymät voivat olla suunnittelijan ehdotuksia mallin merkittävimpien kohtien tai parhaiden katselukulmien esittelemiseksi.

Havainnekuvien (kuva 21) ja -videoiden sekä esitysten vieminen Twinmotionista tapahtuu Vienti-valikon (Export) kautta. Vienti-ikkunasta valitaan vietävät tiedostot ja painetaan Aloita vienti -painiketta (Start export). Vienti-ikkunassa voi vielä ennen viemistä muokata valittujen tiedostomuotojen ominaisuuksia.



Kuva 21. Twinmotionista viety kuva.

Unreal Engine:ssä havainnekuvia varten luodaan tasokohtaus (Level Sequence) projektihakemistoon ja Cine Camera Actor -kamerakomponentti tasohierarkiaan. Kamerakomponentti siirretään tason sisällä haluttuun sijaintiin ja katsekulmaan, minkä jälkeen raahataan tasokohtauksen kautta avattuun sekvensseriikkunaan (Sequencer). Tämä luo sekvensseriin usean kehyksen kohtauksen, josta muodostuisi vietäessä video. Kun sekvensseristä halutaan viedä kuva, tulee kohtausta lyhentää raahaamalla lopusta siten, että kohtauksen pituus on yhden kuvan pituinen.

Pelimoottorin liitännäisistä pitää tarkistaa, että Movie Render Queue -liitännäinen on aktiivisena. Tämän jälkeen avataan Movie Render Queue -työkalu sekvensserin yläpalkista. Kun kuvan vientiasetukset ovat sopivat, painetaan Render (Local) -painiketta, ja pelimoottori luo kuvan (kuva 22).



Kuva 22. Unreal Enginestä viety kuva.

Videot tehdään Unreal Enginessä myös sekvensserillä pitkälti samaan tapaan kuin kuvat. Videon luonnissa aikajanaa ei lyhennetä, vaan siitä tehdään halutun pituinen. Kameraa voidaan liikuttaa lisäämällä kameran ominaisuuksille arvoja tietylle avainkehykselle. Muutettavia ominaisuuksia ovat esimerkiksi sijainti (Location), kierto (Rotation) ja mittakaava (Scale). Näin pelimoottori laskee automaattisesti kameran liikkeen esimerkiksi sijainnin muutokselle kahden avainkehysten välillä.

Kun haluttu lopputulos on saavutettu sekvensserissä, saadaan video vietyä kuvan kanssa samalla tavalla Movie Render Queue -työkalun kautta. Täytyy kuitenkin muistaa, että Unreal Engine vie vain kuvia eikä suoraan videota, joten lopullisen videon luomiseen joutuu käyttämään ulkopuolista ohjelmistoa.

Unreal Enginellä saa luotua itsenäisen interaktiivisen esittelymallin kääntämällä Unreal Engine -projektin lähdekoodi suoritustiedostoksi. Käännettäessä lähdekoodia voi esiintyä käännöksen estäviä virheilmoituksia. Jos virheilmoitukset koskevat lähdekoodin silmukkaviittauksia ja liian pitkiä tiedostopolkuja, saattaa

ongelma johtua Datasmith Importer -liitännäisestä. Työn aikana todettiin, että liitännäinen kannattaa asettaa pois päältä käänösprosessin ajaksi.

Twinmotion tai Unreal Engine eivät tue kääntämistä selainlustoille, mutta molemmille ohjelmistoille on olemassa selaimissa toimiva ratkaisu itsenäiselle interaktiiviselle esittelymallille. Twinmotionilla ratkaisuna on ohjelmiston maksulliseen lisenssiin kuuluva Twinmotion Cloud -pilvipalvelu. Palvelun avulla voidaan upottaa interaktiivinen ja täysin navigoitava Twinmotion-esitys (Presentation) verkkosivulle. [Twinmotion Cloud.]

Unreal Enginella selainpohjainen esittelymalli voidaan toteuttaa käyttäen pilvipohjaista renderöintitekniikkaa (Pixel Streaming), jonka tarkempi tutkiminen rajattiin tämän työn ulkopuolelle. Tekniikka mahdollistaa Unreal Engine -pelimoottorilla luodun sovelluksen välittämisen pilvipalvelun kautta internet-sivulle renderöitynä videokuvana. Käyttäjän syötteet, kuten hiiren ja näppäimistön komennot, välitetään takaisin palvelimelle ja sovellukseen. [Pixel Streaming.]

4.5 Uuden prosessin suositeltu työnkulku

Uuden havainnollistamisprosessin työnkulku on esitetty kaaviona liitteessä 3. Prosessi suunniteltiin hyödyntämään mahdollisimman paljon Twinmotionin helpokäyttöisiä toimintoja eli esittelymallia pyrittiin rikastamaan pitkälti Twinmotionissa, koska sen työkalut ja työnkulku muistuttavat nykyisin käytetyn LumenRT-ohjelmiston työkaluja ja työnkulkua. Tämä tarkoittaa, että yrityksen esittelymalleja rakentavat työntekijät pystyisivät sisäistämään nopeammin uuden työnkulun. Lisäksi Twinmotionin käyttöliittymä ja työkalut ovat intuitiivisempia käyttää kuin Unreal Enginen, mikä myös auttaa Twinmotionin käytön oppimisessa suhteessa Unreal Engineen.

Uusi havainnollistamisprosessin työnkulku seuraa hyvin paljon vanhaa prosessia johtuen LumenRT- ja Twinmotion-ohjelmistojen samankaltaisuuksista. OpenRoads Designerissa tehtävä osuus on täysin sama kuin vanhassa prosessissa, joten Twinmotioniin siirretään valmisteltu väylä- ja siltamallikoonti sekä

kolottu maastomalli. Tämän jälkeen mallia rikastetaan monipuolisemmilla materiaaleilla, kasvillisuudella ja animoiduilla elementeillä, kuten tienkäyttäjillä. Twinmotionilla voidaan tuottaa kaikki vaadittavat esittelymallin lopputuotteet: renderöidyt havainnekuvat ja -videot, itsenäinen interaktiivinen esittelymalli sekä tarvittaessa selainpohjainen esittelymalli.

Unreal Engine -pelimoottoria tarvitaan, jos esittelymalliin halutaan lisätä jonkinlaisia Twinmotionista puuttuvia erikoiselementtejä, kuten esimerkiksi kommenttien lisääminen malliin. Kun esittelymalli muodostetaan pelimoottorilla, on myös muistettava, ettei sen kautta saa suoraan tuotettua renderöityä havainnevideota tai selainpohjaista esittelymallia. Havainnevideo pitää luoda pelimoottorin renderöimästä kuvakoonnista ulkopuolisessa ohjelmistossa, ja selainpohjaista esittelymallia varten tulee käyttää pilvipohjaista Pixel Streaming -renderöintitekniikkaa, joka vaatii erillisen pilvipalvelimen käytön sovelluksen jakamisessa.

5 Nykyisen ja uuden prosessin vertailu

5.1 Ohjelmistojen ominaisuudet ja käytettävyys

LumenRT- ja Twinmotion-ohjelmistot sisältävät hyvin paljon samoja ominaisuuksia, kuten materiaalien määrittelyä, kasvillisuuden lisäämistä ja animoituja elementtejä, mutta lopputuotteiden tuottamisen suhteen on useita eroja. Twinmotionilla pystyy tuottamaan kaikki esittelymallilta vaadittavat lopputuotteet: havainnekuvat ja -videot, itsenäinen interaktiivinen esittelymalli sekä selainpohjainen esittelymalli.

LumenRT puolestaan mahdollistaa havainnekuvien ja -videoiden tuottamisen, mutta itsenäisen interaktiivisen esittelymallin kohdalla ohjelmistolla on haasteita laajoissa projekteissa. Selainpohjaisia esittelymalleja LumenRT ei tue, vaan malli pitää toteuttaa OpenCities Plannerilla. OpenCities Planner tarjoaa kuitenkin Twinmotionin selainpohjaiseen esittelymalliin verrattuna lisäominaisuutena suunnitelmien kommentointityökalun, joka voi olla hyödyllinen vuoropuhelussa sidosryhmien kanssa.

Unreal Engine erottuu Twinmotionista ja LumenRT:stä lähes rajattomilla laajennosmahdollisuuksillaan, sillä sen ominaisuuksia voidaan kehittää itse. Peli-moottori tukee samoja rikastusominaisuuksia kuin reaaliaikaiset visualisointiohjelmistot, mutta ei ole yhtä helppokäyttöinen. Twinmotionilla luodut projektit pystytään siirtämään Unreal Engineen, mutta projekteista katoaa osa Twinmotionissa tehdyistä esittelymallin rikastuksista, kuten animoidut elementit ja muistiinpanot, ja ne on luotava uudelleen. Unreal Enginellä pystyy kuitenkin tuottamaan kaikkia neljää eri lopputuotetyyppiä.

LumenRT:n ongelmia ovat olleet esittelymallin päivittämisen luotettavuus, materiaalmäärittelyt dynaamisesti luodulle mallille sekä itsenäisen interaktiivisen esittelymallin luomisen estävät animoidut elementit. Nämä eivät ole ongelmia Twinmotionille. Ensinnäkin esittelymallia voidaan päivittää luotettavasti, jos FBX-mallit luodaan OpenRoads Designerissa samasta tiedostosta kuin aiempi FBX-tiedosto ja käytetään referenssitiedostojen siirtoa lähelle origoa, jolloin ei tarvita FBX-vientiasetuksissa käyttää Center Geometry -valintaa. Toiseksi materiaaleja voidaan määrittää kaikissa tilanteissa, ja aiemmin määritellyt materiaalit säilyvät mallissa päivitystilanteen jälkeenkin. Kolmanneksi Twinmotionissa animoidut elementit eivät estä lopputuotteiden luomista.

Nykyisen työnkulun ongelma ilmakuviin laadun säilymisestä ja todellisuusmallin koloamisesta sen sijaan ei ratkea käyttämällä Twinmotionia. Uudessakin työnkulussa on suositeltavaa käyttää maastomallin ja todellisuusmallin tuottamiseen Bentley ConceptStationia ja sen kautta luotavaa 3sm-tiedostomuotoa, sillä tämän toteutustavan avulla ilmakuviin projisoiminen maanpintaan, ilmakuviin laadun hallinta ja mallin vieminen automaattisesti ositetuina monikulmioverkkoina ja tekstuureina FBX-muotoon on melko nopeaa ja vaivatonta. Tässä työssä toteutettu vaihtoehtoinen työnkulku käyttäen kuvankäsittely- ja 3D-mallinnusohjelmia on hyvin paljon hankalampaa ja tehotonta. Todellisuusmallin koloamisessa sen sijaan voi auttaa mallin kierrättäminen 3D-mallinnusohjelmassa, jossa kolon reunat voidaan melko vaivattomasti valita ja siirtää suunnitelmamallien alapuolelle ratkaisten todellisuusmallin alle näkemisen.

Koska LumenRT ja Twinmotion sisältävät paljon samanlaisia ominaisuuksia, ovat ne myös käytettävyydeltään samantasoisia. Molempien ohjelmistojen graafinen käyttöliittymä on hyvin yksinkertainen ja intuitiivinen, joten ohjelmistojen peruskäytön oppiminen on helppoa etenkin, jos on aiemmin jo käyttänyt toista ohjelmistoa. Unreal Engine sen sijaan on käytettävyydeltään raskas ja melko vaikea oppia, koska sen ominaisuudet ovat niin monipuoliset ja käyttöliittymä epäintuitiivinen. Kaikille kolmelle ohjelmistolle on ilmaisia oppimisresursseja, joista suurin osa on videoita. Twinmotionille ja Unreal Enginelle löytyy oppimateriaalia kuitenkin enemmän kuin LumenRT:lle.

5.2 Työmäärä ja lopputuotteiden laatu

Lopputuotteiden luomiseen käytettävä työmäärä on LumenRT:ssä ja Twinmotionissa suunnilleen sama. Tämä johtuu pitkälti ohjelmistojen samanlaisista ominaisuuksista ja työnkuluista. Erottavana tekijänä on kuitenkin LumenRT:n epäluotettavuus ja epävakaus, mikä voi etenkin laajemmissa hankkeissa johtaa LumenRT-projektin työmäärän kasvuun, kun prosessin osat joudutaan tekemään useaan kertaan. Twinmotionissa samanlaisia ongelmia ei havaittu.

Unreal Enginen työmäärä lopputuotteiden laatimisessa on reaaliaikaisia visualisointiohjelmistoja suurempi. Tämä johtuu siitä, että monet työkalut ja elementit, jotka visualisointiohjelmistoissa on valmiina, joutuu tekemään pelimoottorissa itse tai ostamaan laajennuksen pelimoottorin kauppapaikalta, eivätkä ne aina ole yhtä helppokäyttöisiä. Lisäksi havainnekuvien ja -videoiden luominen ei ole yhtä helppoa kuin visualisointiohjelmistoissa, koska Unreal Engine on kehitetty pohjimmiltaan pelimoottoriksi.

LumenRT:ssä ja Twinmotionissa luotujen havainnekuvien ja -videoiden sekä itsenäisten interaktiivisten esittelymallien laatu on hyvin samantasoisia. Twinmotion pääsee lähemmäs realistisempaa visuaalista ilmettä, mutta LumenRT:n lopputuotteet ovat hieman optimoidumpia oletusarvoisesti. Kokenut käyttäjä saisi varmasti kuitenkin tehtyä molemmilla ohjelmistoilla yhtä laadukkaita

realistisia lopputuotteita. Selainpohjaisia esittelymalleja ei vertailtu, koska se olisi vaatinut Twinmotionilla maksullisen lisenssin.

Unreal Enginella saa tuotettua vähintään samanlaatuisia lopputuotteita kuin visualisointiohjelmistoilla. Unreal Engine tarjoaa kuitenkin valtavan määrän ominaisuuksia, joilla lopputuotteiden laatu voidaan saada huomattavasti paremmaksi kuin visualisointiohjelmistoissa, koska säätö- ja optimointimahdollisuudet ovat niin kattavat.

5.3 Ohjelmistojen kustannukset

Koska Finnmap Infran Bentley-lisenssiin kuuluu kaikki ohjelmistokehittäjän ohjelmistot, ei kustannusvaikutuksia ole järkevää syvällisesti verrata. Toteutettiin kuitenkin yksinkertainen lisenssikustannusvertailu tilanteeseen, jossa yritys vaihtaisi lisenssipolitiikkaansa kattamaan yksittäisiä Bentleyyn ohjelmistolisenssejä. Lisenssien kustannukset on esitetty taulukossa 4 Yhdysvaltojen dollareina. Unity Pro -pelimoottorin lisenssikustannus on lisätty vertailuun tuomaan kontekstia suhteessa muihin pelimoottoreihin.

Taulukko 4. Ohjelmistojen lisenssikustannus vuodessa.

Ohjelmisto	Kustannus (\$/vuosi)
Bentley LumenRT	1951 [Bentley eStore.]
Unreal Engine (sisältäen Twinmotionin ja RealityCapturen)	1850 [Licences and Pricing.]
Twinmotion (itsenäisesti)	445 [Licences and Pricing.]
Unity Pro	2200 [Choose the plan that's right for you.]

Pelkän Twinmotion-lisenssin kustannus on siis pieni verrattuna muihin ohjelmistoihin. Kun tämä otetaan huomioon yhdessä luotettavamman havainnollistamisen työnkulun kanssa, voidaan todeta Twinmotionin käyttöönoton olevan

taloudellisesti kannattavampaa tilanteessa, jossa yrityksellä on käytössä Bentleyltä yksittäiset ohjelmistolisenssit.

Epic Games tarjoaa Unreal Engine -lisenssin myös ilmaiseksi, jos täyttää tietyt kriteerit. Ilmaislisenssiin ovat oikeutetut pelikehittäjät ja pienet yritykset, joiden vuotuinen liikevaihto on alle miljoona dollaria. Näiden lisäksi koulut saavat käyttää ilmaislisenssiä rajattomasti. Finnmap Infran liikevaihto vuonna 2023 oli yli 8 miljoonaa euroa, joten yrityksellä ei ole mahdollisuutta käyttää ohjelmiston ilmaisversiota.

Sekä LumenRT, Twinmotion että Unreal Engine tarjoavat ilmaisia materiaali- ja kasvillisuusobjektikirjastoja käytettäväksi. Näiden kirjastojen käyttö- ja omistusoikeudet tulisi käydä oikeusteknisesti läpi, jotta voidaan varmistaa kirjastojen sallittu käyttö infrastruktuurihankkeiden esittelymalleissa. Yleisissä inframallivaatimuksissa todetaan, että hankkeen tilaajalle tulee palauttaa kaikki lisensoimattomat esittelymallin osamallit ja näiden mallien omistaminen ja käyttöoikeus tulee olla tilaajalla ja määriteltynä tarjouspyyntöasiakirjoissa [Yleiset inframallivaatimukset YIV].

6 Yhteenveto

Työssä tutkittiin Unreal Engine -pelimoottorin ja sitä tukevan reaaliaikaisen visualisointiohjelmiston, Twinmotionin, soveltumista korvaamaan Bentley LumenRT työn tilaajayrityksen havainnollistamisprosessissa. Työssä tarkasteltiin yrityksen nykyistä havainnollistamisprosessia, luotiin vastaava prosessi perustuen Twinmotioniin ja Unreal Engineen sekä toteutettiin esittelymalli esimerkkihankkeesta perustuen uuteen havainnollistamisprosessiin. Esittelymallista luotiin lisäksi vaatimusten mukaiset havainnollistamisen lopputuotteet.

Työssä havaittiin, että Twinmotionilla saa tehtyä vähintään samanlaatuisia lopputuotteita kuin LumenRT:llä, mutta varmemmin, sillä LumenRT voi olla hyvin epävakaa käsiteltäessä laajoja hankealueita. Twinmotionilla on siis mahdollista luoda ainakin tietyissä tilanteissa havainnollistamisen lopputuotteet vähemmällä

työmäärällä. Todettiin lisäksi, että lopputuotteiden luominen Unreal Enginellä lisää työmäärää suhteessa nykyiseen havainnollistamisprosessiin, ainakin ensimmäisten uuden havainnollistamisprosessin mukaan tehtävän projektin kohdalla. Työmäärä kuitenkin oletettavasti pienenee, kun Unreal Engineen on saatu kehitettyä samanlaiset työkalut, jotka löytyvät valmiina visualisointiohjelmistoista. Tämän jälkeen työmäärä Unreal Enginellä voisi olettaa olevan lähes sama kuin visualisointiohjelmistoillakin.

Unreal Enginen etuna onkin sen mahdollisuudet toimia näyttävämpien ja massasta erottuvien esittelymallien tuottamisessa. Pelimoottorilla luotuihin esittelymalleihin on myös mahdollista lisätä uudenlaisia elementtejä, joita ei aiemmin ole esittelymalleissa esitetty. Lisäksi Unreal Engine mahdollistaa esittelymallien käytettävyyden optimoinnin aivan eri lailla kuin visualisointiohjelmistoissa.

Työn perusteella tilaajayrityksen kannattaisi ottaa Twinmotion laajempaan kokeiluun rinnakkain LumenRT:n kanssa. Yrityksen ja Bentley'n välisestä lisenssi-politiikasta johtuen ei ohjelmistosta varmasti saataisi varsinaisia taloudellisia hyötyjä, mutta Twinmotionin käyttöönotto voisi tuottaa esittelymallien parissa työskenteleville työntekijöille hyvinvointia vakaamman työnkulun ja pienemmän työmäärän kautta. Unreal Engine -lisenssiä tuskin kannattaa hankkia, koska sen lisähyödyt suhteessa Twinmotioniin ovat pienet. Unreal Engine -mahdollisuuksia voisi kuitenkin tutkia esimerkiksi opiskelijakehitysprojekteina.

Työssä jäi tarkastelematta lähemmin useita ominaisuuksia ja työnkuluja, jotka voisivat olla mahdollisia jatkotutkimusaiheita. Tilaajayritys käyttää kuvauskopteereita ilmakuvaukseen, joten työnkulussa voisi hyödyntää myös RealityCapture-fotogrammetriaohjelmistoa. Twinmotionissa ei tutkittu tarkemmin Urban-ominaisuutta, jolla voi luoda karttatietoon perustuvan todenmukaisen visuaalisen esityksen valitun alueen ympäristöstä. Samantapainen laajennus, Cesium for Unreal, on tarjolla Unreal Enginelle pelimoottorin kauppapaikalla. Laajennuksen käytössä tulisi selvittää tarkemmin tekijänoikeuksien määräytyminen. Lisäksi voisi olla tarpeellista tutkia OpenRoads Designerin työnkulun osittaista

automatisointia tai optimointia, sillä työvaiheet, kuten maastomallin koloaminen ja suunnitelmamallien koonti, ovat työmäärältään hyvin raskaita.

Lähteet

Bentley eStore. Verkkoaineisto. Bentley Systems. <<https://en.virtuosity.com/bentley-lumenrt>>. Luettu 4.2.2025.

Bentley LumenRT – Real-Time Visualization Software. Verkkoaineisto. Bentley Systems. <<https://www.bentley.com/software/bentley-lumenrt/>>. Luettu 28.1.2025.

Choose the plan that's right for you. Verkkoaineisto. Unity Technologies. <<https://unity.com/products/compare-plans>>. Luettu 4.2.2025.

Datasmith. Verkkoaineisto. Epic Games. <https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/datasmith-plugins-for-unreal-engine?application_version=5.4>. Luettu 7.3.2025.

Form Builder. Verkkoaineisto. Bentley Systems. <<https://help.opencitiesplanner.bentley.com/index.html@p=94.html>>. Luettu 6.2.2025.

Importing Geometry. Verkkoaineisto. Epic Games. <<https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/twinmotion/importing-geometry-in-twinmotion>>. Luettu 4.3.2025.

Mikä on tietomalli? Verkkoaineisto. Väylävirasto. <<https://vayla.fi/palveluntuottajat/inframallit/mika-on-tietomalli->>. Päivitetty 12.11.2020. Luettu 9.1.2025.

Kt 50 (Kehä III) parantaminen, vaihe 3, rakennussuunnitelma. Verkkoaineisto. Finnmap Infra. <<https://projektit.finnmap-infra.fi/50651/>>. Luettu 6.2.2025.

Licences and Pricing. Verkkoaineisto. Epic Games. <<https://www.twinmotion.com/en-US/license>>. Luettu 4.2.2025.

Lumen Global Illumination and Reflections. Verkkoaineisto. Epic Games. <<https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/lumen-global-illumination-and-reflections-in-unreal-engine>>. Luettu 4.2.2025.

Luoma, Sami. 2016. Yleiset inframallivaatimukset YIV 2015 Osa 10: Havainnollistaminen. Verkkoaineisto. <<https://drive.buildingsmart.fi/s/c5GKpSQbqtjyTca>>. Luettu 9.1.2025.

Nanite Virtualized Geometry. Verkkoaineisto. Epic Games. <<https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/nanite-virtualized-geometry-in-unreal-engine>>. Luettu 4.3.2025.

Nikunen, Ville. 2025. Tietomallikoordinaattori, Finnmap Infra, Helsinki. Keskustelu 22.1.2025.

OpenCities Planner. 2020. Verkkoaineisto. Bentley Systems. <<https://www.bentley.com/wp-content/uploads/PDS-OpenCities-Planner-LTR-EN-LR.pdf>>. Luettu 6.2.2025.

OpenRoads Designer. 2021. Verkkoaineisto. Bentley Systems. <<https://www.bentley.com/wp-content/uploads/PDS-OpenRoads-Designer-LTR-EN-LR.pdf>>. Luettu 28.1.2025.

OpenRoads Designer – Roadway Design Software. Verkkoaineisto. Bentley Systems. <<https://www.bentley.com/software/openroads-designer/>>. Luettu 28.1.2025.

Overview of the Twinmotion to Unreal Engine Workflow. Verkkoaineisto. Epic Games. <<https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/twinmotion/overview-of-the-twinmotion-to-unreal-engine-workflow> >. Luettu 7.3.2025.

Pixel Streaming. Verkkoaineisto. Epic Games. <<https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/pixel-streaming-in-unreal-engine>>. Luettu 9.3.2025.

QGIS Overview. Verkkoaineisto. <<https://qgis.org/project/overview/>>. Luettu 23.2.2025.

Quixel Megascans. Verkkoaineisto. Quixel. <<https://quixel.com/megascans>>. Luettu 4.3.2025.

Rakennukset 3D. Verkkoaineisto. Maanmittauslaitos. <<https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/aineistot-ja-rajapinnat/tuotekuvaukset/rakennukset-3d>>. Luettu 22.1.2025.

Settings for Standard Materials. Verkkoaineisto. Epic Games. <<https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/twinmotion/settings-for-standard-materials-in-twinmotion>>. Luettu 4.3.2025.

Skaaland, Eivind; Pitera, Kelly. 2021. Investigating the use of visualization to improve public participation in infrastructure projects: how are digital approaches used and what value do they bring? Urban, Planning and Transport Research, Vol. 9, Iss. 1, s. 171–185.

Textures. Verkkoaineisto. Epic Games. <https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/textures-in-unreal-engine?application_version=5.0>. Luettu 11.3.2025.

Tiesuunnitelma. 2022. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <<https://vaylavirasto.sharefile.eu/share/view/s67ee28535c8449fba7dc1ac258713b47/fob333b8-5a79-45d0-85d2-8356ece0d232>>. Luettu 28.2.2025.

Twinmotion Cloud. Verkkoaineisto. Epic Games. <<https://www.twinmotion.com/en-US/twinmotion-cloud>>. Luettu 13.3.2025.

Twinmotion to Unreal Engine Workflow. Verkkoaineisto. Epic Games. <<https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/twinmotion/twinmotion-to-unreal-engine-workflow>>. Luettu 7.3.2025.

Vikström, Jussi. 2025. Valaistussuunnittelija ja visualisoinnin asiantuntija, Finnmap Infra, Helsinki. Keskustelu 5.2.2025.

Visualisointi. Verkkoaineisto. Finnmap Infra. <<https://finnmap-infra.fi/palvelut/visualisointi/>>. Luettu 7.2.2025.

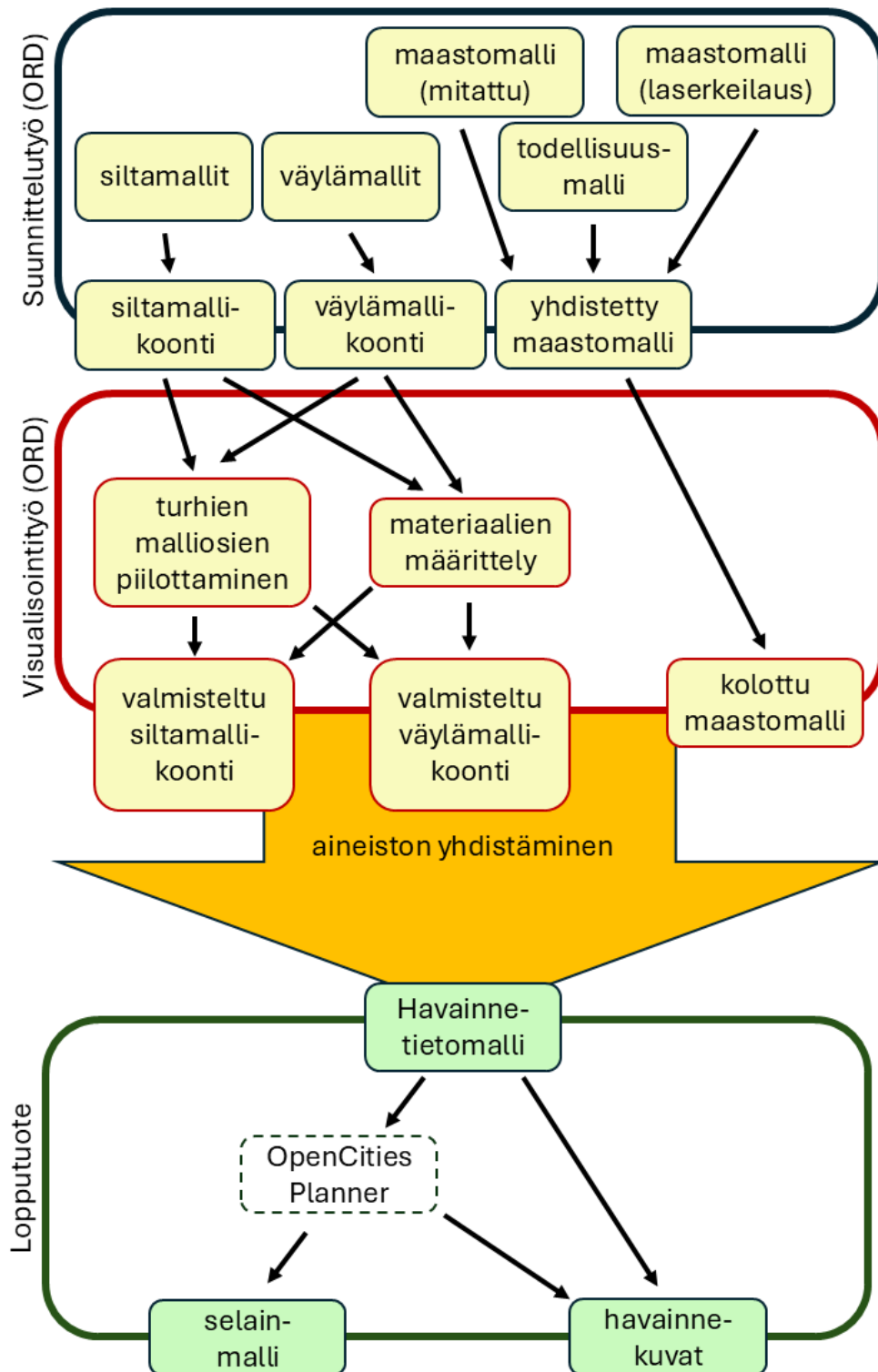
Visualisointiprosessi. 2024. Yrityksen sisäinen materiaali. Finnmap Infra.

Vt 23 Karvio – 9.10.2019. Verkkoaineisto. Finnmap Infra <<https://projektit.finnmap-infra.fi/50677/>>. Luettu 7.2.2025.

World Partition. Verkkoaineisto. Epic Games. <<https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/world-partition-in-unreal-engine>>. Luettu 8.3.2025.

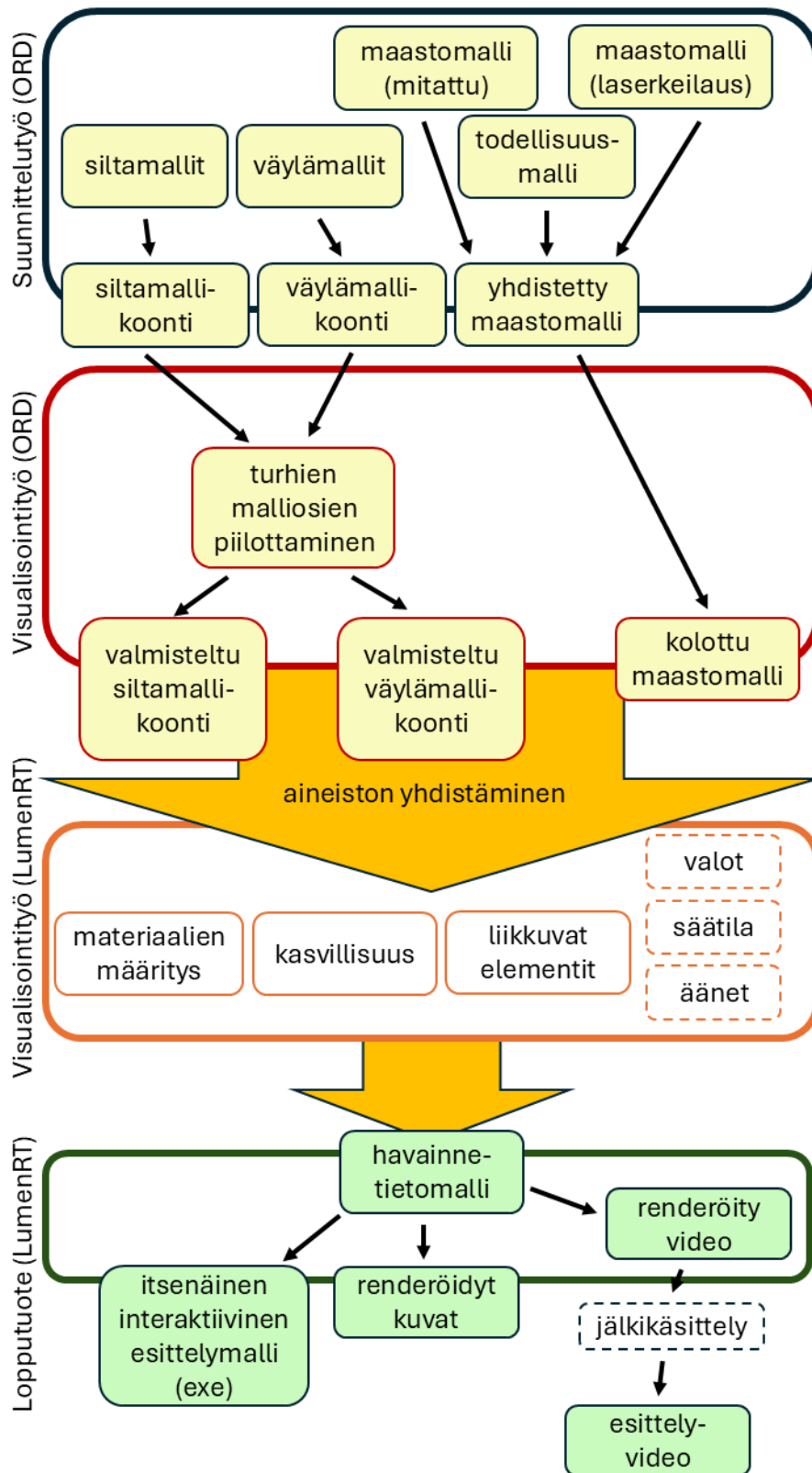
Yleiset inframallivaatimukset YIV. 2021. Verkkoaineisto. Building SMART Finland. <<https://drive.buildingsmart.fi/s/AAELrj83NbrHae2>>. Luettu 9.1.2025.

Havainnetietomalli-tuotteen prosessi



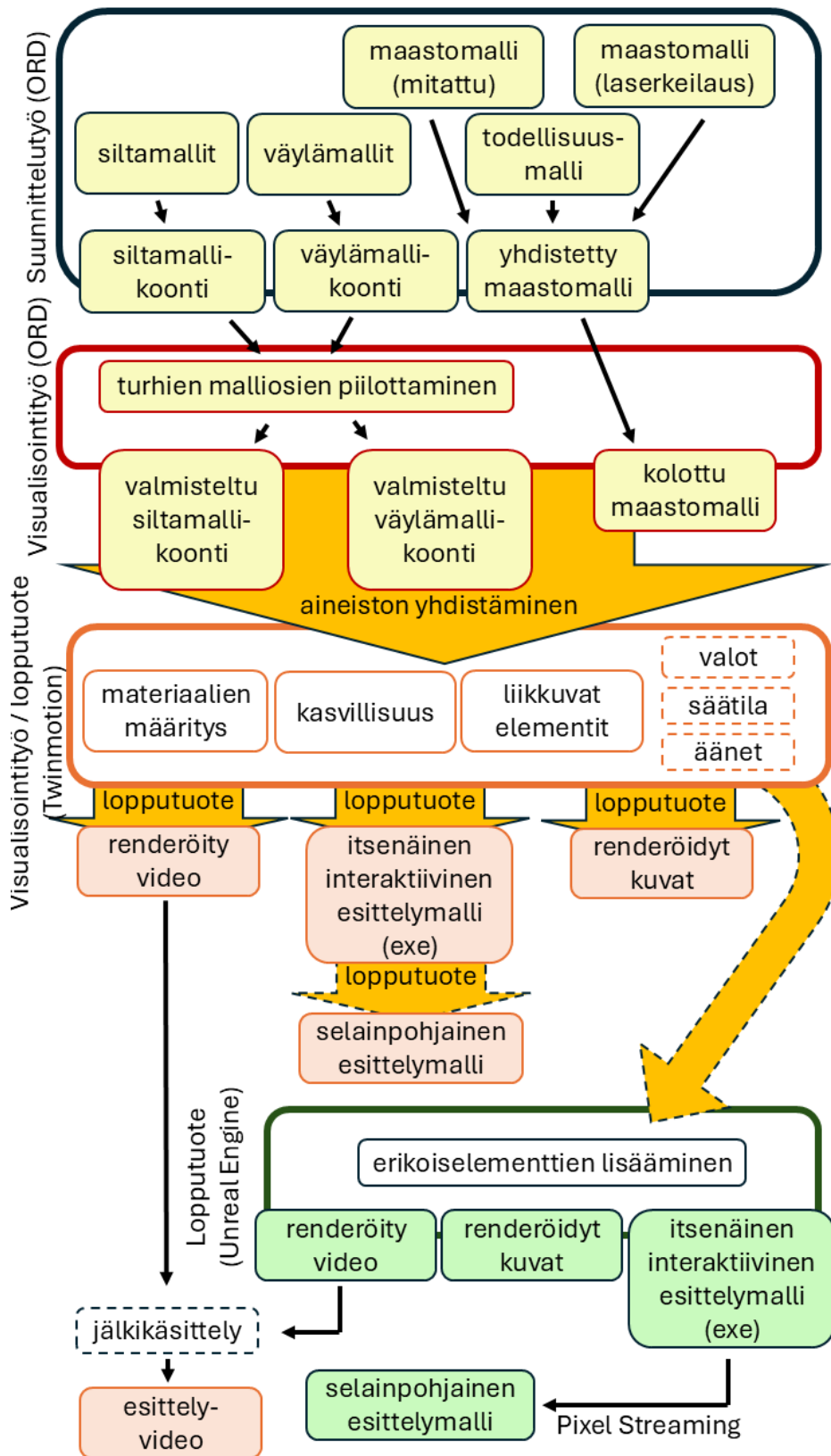
Kuva 1. Havainnetietomalli-tuotteen prosessi kaaviona. [Visualisointiprosessi 2024]

Esittelymalli-tuotteen prosessi



Kuva 1. Esittelymalli-tuotteen prosessi kaaviona. [Visualisointiprosessi 2024]

Uusi havainnollistamisen prosessi



Kuva 1. Uusi havainnollistamisprosessi kaaviona.