



# Unreal Engine 5:n käyttö arkkitehtisuunnittelussa

Selvitys mahdollisuuksista ja käyttöönoton opas

Henri Puolanne

OPINNÄYTETYÖ  
Huhtikuu 2023

Rakennusarkkitehti

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennusarkkitehti

PUOLANNE, HENRI:  
Unreal Engine 5:n käyttö arkkitehtisuunnittelussa  
Selvitys ja käyttöönoton opas

Opinnäytetyö 39 sivua  
Huhtikuu 2023

---

Opinnäytetyössä tutkittiin Unreal Engine -ohjelmiston rakennusalalle tarjoamia mahdollisuuksia arkkitehtisuunnittelun parissa. Työn tarkoituksena oli selvittää peliteknologian ja reaaliaikaisen renderöinnin vaikutukset tietomallipohjaiseen suunnittelutyöhön sekä rakennuksen virtuaalimalliin liittyvään toiminnallisuuteen. Osana opinnäytetyötä laadittiin myös tiivis opas Unreal Enginen käyttöönottoa varten tietomallipohjaista suunnittelua hyödyntävässä rakennushankkeessa. Unreal Enginen käyttökohteita selvitettiin työelämälähtöisesti, ja opinnäytetyön tilaajana toimi Arkkitehdit Kontukoski Oy.

Unreal Enginen käyttökohteita tutkittiin opinnäytetyössä kahdella tapaa: käytännön esimerkein kuvitteellisen rakennusmallin kautta sekä ulkoisten tietolähteiden avulla. Työssä esitettiin tiivistetysti sekä tunnettuja että uusia käyttötarkoituksia. Työn opasosiossa käsitellään vaiheittain Unreal Enginen ja tietomallinnusohjelmiston välinen tiedonsiirtoprosessi sekä työskentelyssä huomioitavia käytäntöjä.

Unreal Engine osoittautui selvitystyön tuloksena perehtymisen arvoiseksi työvälineeksi myös viihdeteollisuuden ulkopuolella. Rakennushankkeessa on sen avulla mahdollista tuottaa poikkeuksellista visuaalista ja interaktiivista suunnitteluaineistoa sekä uusia työ- tai kommunikointivälineitä. Unreal Enginen käytöllä ei todettu olevan haittavaikutuksia tietomallipohjaiseen suunnittelutyöhön, eikä sen käyttöä ole poissuljettu missään suunnitteluhankkeessa. Päinvastoin Unreal Engine on muunneltavuutensa vuoksi räätälöitävissä monenlaiseen hankkeeseen tai työprosessiin sopivaksi.

Unreal Enginen jatkuvan kehitystyön myötä sen käyttökohteet sekä mahdollisuudet rakennussuunnittelussa tulevat lisääntymään ajan saatossa entisestään. Rakennushankkeiden ja niiden vaatimusten kasvaessa alan toimijoiden kannattaa arvioida interaktiivisen teknologian mahdollisia hyötyvaikutuksia toimintaansa. Kaikkia Unreal Enginen käyttökohteita voi aluksi olla vaikea hahmottaa sen avoimen luonteen vuoksi, joten täyden hyödyn saamiseksi uudelta käyttäjältä vaaditaan uskallusta kokeilla sen käyttöä erilaisissa tilanteissa.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Construction Architect

PUOLANNE, HENRI:  
Using Unreal Engine 5 in the Architectural Design Process  
Study and Quickstart Guide

Bachelor's thesis 39 pages  
April 2023

---

The goal of this thesis was to study the potential applications of Unreal Engine in architectural design, and to document the process and effects of using game technology as part of a BIM-based design workflow. The studied use cases were determined in collaboration with Arkkitehdit Kontukoski Oy, who commissioned the thesis.

The study was carried out as a project. Unreal Engine was tested for use in 3D visualisation, virtual accessibility studies and tool development in a BIM-based work environment. Autodesk Revit was used to study the interoperability between Unreal Engine and common BIM software. The findings and processes were documented in subject-specific sections of the thesis.

The result of the project is a written guide on incorporating Unreal Engine into the architectural design process and how to approach its different applications. The findings presented in the thesis suggest that Unreal Engine can be a valuable asset for architects and other designers who utilise BIM-based tools. The tested methods will be further developed in collaboration with the client, and the written portion of the thesis can be used by other architectural designers as a starting point for developing their own workflow using Unreal Engine.

---

Key words: Unreal Engine, 3D model, architecture, building design

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	RAKENNUSMALLI.....	7
3	UNREAL ENGINE.....	8
	3.1 Ohjelmisto ja lisenssi.....	8
	3.2 Ohjelmointi .....	8
	3.3 Ekosysteemi.....	9
	3.4 Asema rakennusalalla.....	10
4	UNREAL ENGINEN KÄYTTÖÖNOTTO ARKKITEHTISUUNNITTELUSSA.....	11
	4.1 Revit-Unreal Engine -työpolku .....	11
	4.1.1 Tiedonsiirto ja Datasmith .....	12
	4.1.2 Visual Dataprep .....	14
	4.2 Käyttöönoton vaikutukset tietomallinnustyöhön .....	15
	4.3 Yhteistyö Unreal Enginessä .....	16
5	UNREAL ENGINEN MAHDOLLISUUDET ARKKITEHTISUUNNITTELUSSA.....	18
	5.1 Havainnekuvat ja visualisointi .....	18
	5.1.1 Renderöinti .....	18
	5.1.2 Materiaalieditori .....	20
	5.1.3 Valaistussuunnittelu.....	23
	5.1.4 Videotuotanto .....	23
	5.2 Virtuaalimallin toiminnallisuuden laajentaminen .....	24
	5.2.1 BIM-datan esittäminen ja hyödyntäminen.....	24
	5.2.2 Käyttäjälähtöinen interaktiivisuus.....	26
	5.3 Rakennusmallin virtuaalinen esteettömyyskartoitus.....	27
	5.3.1 Värinäön heikkouden simulointi .....	27
	5.3.2 Heikkonäköisyyden simulointi.....	28
	5.3.3 Valaistus, heijastukset ja varjokuviot .....	29
	5.3.4 Erialaisten käyttäjäryhmien simulointi.....	30
	5.3.5 Pintojen kaltevuuksien kartoittaminen .....	31
	5.4 Digitaalinen kaksonen .....	32
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	34
	LÄHTEET.....	38

**ERITYISSANASTO**

CAD	Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu.
PBR	Fysiikkaperusteinen renderöinti, Physically Based Rendering.
Tekstuuri	Kuvatiedosto, jota käytetään esimerkiksi 3D-mallin pintakuviointina tai -väriyksenä.
RGBA	Punaisen (R), vihreän (G) ja sinisen (B) yhdistelmä, joka kuvaa väriä yksittäisistä sävyistä muodostettuna. Alfakanava (A) kuvaa värin läpinäkyvyyttä.
UV-kartta	Kaksiulotteinen esitys 3D-mallin pintageometriasta, joka määrittää tekstuurin linjauksen mallin pinnalla.
Fotogrammetria	3D-mallinnustapa, jossa malli tuotetaan ohjelmallisesti valokuva-aineiston pohjalta.
Rasterointi	Renderöintitapa, jossa laskenta tehdään pikselitasolla.
Verteksi	Piste 3D-avaruudessa, joka on perinteisen 3D-mallin pienin komponentti. Verteksit muodostavat yhdistettynä rajauksen 3D-mallin pinnoille.
sRGB	Yleisesti käytetty väriprofiili, joka määrittää värien toistavan näyttöpäätteellä.
Suodin	Näytöllä esitettävään kuvaan lisättävä tehoste, joka voi vaikuttaa esimerkiksi kuvan valoisuuteen tai väreihin.

## 1 JOHDANTO

Suuri osa nykypäivän rakennushankkeista hyödyntää tietomallipohjaista suunnittelua. Luonteensa vuoksi rakennuksesta luotava tietomalli saattaa kuitenkin olla niin raskas sekä monimutkainen kokonaisuus, ettei sen käyttö ole realistista esimerkiksi asiakasesittely- tai visualisointitarkoituksessa. Tällöin tietomallin pohjalta luodaan kevennetty virtuaalimalli, joka soveltuu juuri näihin tarkoituksiin. Virtuaalimallin sisältämän tiedon vähäisyys sekä yksinkertaisuus rajoittavat kuitenkin sen nykyisiä käyttökohteita jopa tietomallia vähäisemmiksi.

Opinnäytetyön tavoitteena on esittää uusia sekä tunnettuja tapoja lisätä virtuaalimallin toiminnallisuutta ja käyttökohteita Unreal Enginen avulla. Työssä käsitellään erityisesti peliteknologian sekä reaaliaikaisen renderöinnin rakennusalalle tarjoamia mahdollisuuksia. Tämän lisäksi työssä esitetään Unreal Enginen sekä sen ekosysteemin tarjoamia keinoja virtaviivaistaa virtuaalimalliin liittyvää työtä sekä luoda täysin uusia suunnittelun työkaluja. Opinnäytetyön opas-osiossa esitetään tiivistetysti Unreal Enginen käyttöönoton vaiheet sekä vaikutukset tietomallipohjaiseen suunnittelutyöhön.

Opinnäytetyössä selvitettävät asiat sekä oppaan sisältö on päätetty työelämälähtöisesti yhdessä opinnäytetyön tilaajan kanssa. Jotta opinnäytetyön sisältö olisi helpommin lähestyttävämpi, siinä selvitettäviä käyttökohteita käsitellään tiivistetysti ja periaatetasolla. Jotkin käyttökohteista ovat kokonaisuutena niin laajoja ja niiden lähestymistavat niin monipuolisia, ettei niiden perusteellinen tutkiminen ole kannattavaa tai opinnäytetyön aihearajauksen puitteissa mahdollista. Opinnäytetyön lähdeaineistona on hyödynnetty muun muassa ohjelmistokehittäjien ohjemateriaalia, ajankohtaisia verkkojulkaisuja, webinaareja sekä aiheisiin liittyvää tietokirjallisuutta.

## 2 RAKENNUSMALLI

Rakennuksen tietomalli (engl. Building Information Model, BIM) on digitaalinen, kolmiulotteinen versio suunniteltavasta rakennuksesta, joka sisältää kaiken rakennukseen liittyvän informaation rakenteista talotekniikkaan (YIT Oyj, 2019). Tietomallin pohjalta voidaan tuottaa runsas määrä aineistoa, kuten esimerkiksi piirustuksia, määräluetteloita sekä tietoa yksittäisistä rakennusosista aina suunnitteluvaiheesta rakennuksen elinkaaren loppuun asti. Eri suunnittelualojen yhteistä tietomallia hyödyntämällä suunnitelmien yhteensovittaminen on yksinkertaisempaa perinteiseen suunnitteluun verrattuna, kun aineisto on keskitetyksi yhdessä paikassa sekä havainnollisesti esitettävissä (BuildingSMART Finland, 2012).

Tietomallin pohjalta voidaan luoda edelleen räätälöity virtuaalimalli. Oletuksena virtuaalimalli sisältää tyypillisesti vain rakennuksen kolmiulotteisen pintageometrian, ja sen sisältämä BIM-informaatio sekä toiminnallisuus on yleensä joko olematonta tai niukkaa tietomalliin verrattuna (Lévy, F. & Ouellette, J. W. 2019). Yksinkertaistetun luonteensa ansiosta virtuaalimalli on kuitenkin tietomallia kevyemmin esitettävissä, sillä sen piirtymiseen ei liity esimerkiksi taustalla tehtävää laskentaa. Virtuaalimalleja käytetään usein esimerkiksi visualisointi- tai esittelyaineiston tuottamiseen, ja niistä saatetaankin käyttää myös nimitystä ”esittelymalli” (Kivioja, M. 2021).

Myös virtuaalimallin esittämiseen käytetty ohjelmisto saattavat rajoittaa sen käyttötarkoituksia sekä toiminnallisuutta. Jotkin ohjelmistot esimerkiksi mahdollistavat jopa kävelemisen mallin sisällä virtuaalitodellisuuslasien avulla, kun taas toiset kykenevät ainoastaan tuottamaan mallista staattisia visualisointikuvia. Joissakin tilaisuuksissa voi myös olla tarve esittää rakennuksesta tarkempaa tietoa ilman, että kuitenkaan käyttäisi rakennuksen raskasta tietomallia tai yksityiskohtaista piirustusaineistoa. Tämän opinnäytetyön selvitysosion keskeisiä teemoja ovat mahdollisuus tuoda virtuaalimallia ominaisuuksiltaan lähemmäksi tietomallia sekä virtuaalimallin toiminnallisuuden laajentaminen.

## 3 UNREAL ENGINE

### 3.1 Ohjelmisto ja lisenssi

Unreal Engine on avoimen lähdekoodin ohjelmisto, joka sisältää kattavat ominaisuudet interaktiivisten simulaattoreiden ja pelien kehittämiseen, visualisointiin, elokuva- ja televisiotuotantoon, sekä muihin reaaliaikaisiin käyttötarkoituksiin. Ohjelmiston toiminnallisuutta on myös mahdollista laajentaa ohjelmointimahdollisuuksien avulla omiin tarpeisiin sopiviksi. Unreal Engine on saanut alkunsa pelialalla, mutta viime vuosina ohjelmistoon on lisätty myös muilla aloilla hyödynnettävissä olevia ominaisuuksia, jotka ovat muuntaneet sen tavallisesta pelimoottorista kokonaisvaltaiseksi sisällöntuotantoalustaksi (Shannon, T. 2017).

Unreal Enginen käyttö ja lisensointi on useimmissa tapauksissa ilmaista. Ilman räätälöityä lisenssisopimusta joistakin ohjelmistolla luoduista tuotteista on kuitenkin maksettava rojalteja, mikäli tuotot ylittävät käyttöehdoissa määritetyn rajan. Opinnäytetyön aiheajauksen kannalta on huomioitava, että työssä esitetyistä ohjelman käyttökohteista ei koidu maksettavaksi rojalteja. Rojaltivapaita käyttökohteita ovat esimerkiksi arkkitehtoninen visualisointi, yhtiön sisäiset projektit, konsultointi sekä tuotokset, jotka eivät itsessään ole suora tulonlähde (Epic Games, n.d.).

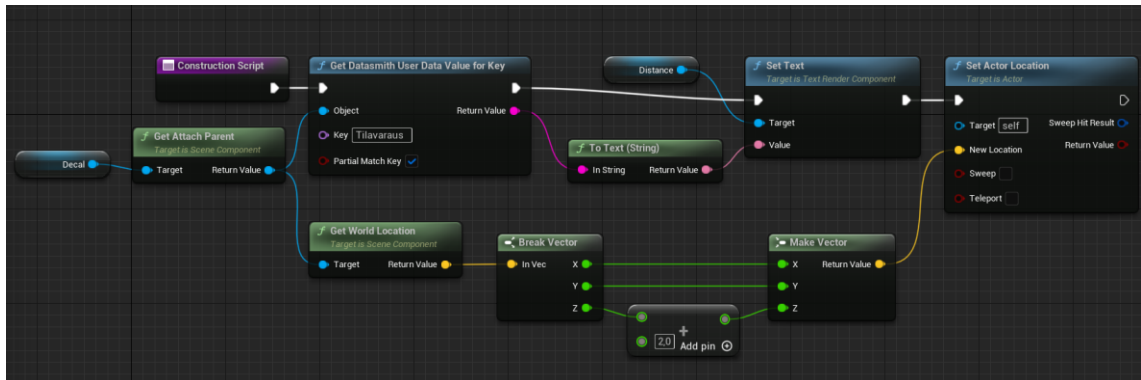
### 3.2 Ohjelmointi

Unreal Enginen käyttäjien on mahdollista laajentaa sekä muokata ohjelmiston ominaisuuksia ja toimintoja kolmen eri ohjelmointikielen avulla. Perustavanlaatuisia muutoksia varten Unreal Enginen C++ -ohjelmointikielen pohjautuvaa lähdekoodia voi muokata kuka tahansa, ja Python -ohjelmointikielen avulla on mahdollista luoda esimerkiksi työkaluja erilaisten prosessien automatisoimiseksi. Useimpiin käyttötarkoituksiin riittää kuitenkin Unreal Enginen oma ohjelmointikieli Blueprint, joka toimii perustana monelle ohjelmiston ominaisuudelle.

Blueprint on visuaalinen ohjelmointikieli, joka perustuu johtokaaviomaisiin toimintoketjuihin (kuva 1). Ketjut muodostuvat yksittäisistä komennoista, joita yhdiste-



lemällä on mahdollista luoda monimutkaisiakin laskennallisia tai toiminnallisia komentosarjoja. Blueprint kääntyy ajon aikana C++ -kielelle, mutta sen visuaalisuus ja yksinkertaisuus tekevät siitä tavanomaista tekstimuotoista ohjelmointia lähesyttävämmän.



KUVA 1. Ote Unreal Enginen Blueprint -ohjelmointikielellä luodusta koodista (Puolanne, 2023).

### 3.3 Ekosysteemi

Unreal Enginen kehittäjä Epic Games tarjoaa ohjelmiston ohella useita tuotteita sekä palveluita, jotka tukevat sen käyttöä. Näitä ovat esimerkiksi fotogrammetrisesti tuotettu 3D-objekti- ja -materiaalikirjasto Megascans sekä reaaliaikaiseen visualisointiin kehitetty visualisointiohjelmisto Twinmotion. Unreal Enginen ekosysteemiin kuuluvat tuotteet ja palvelut ovat myös pääasiassa ilmaisia tai saatavilla alennettuun hintaan ohjelmiston käyttäjille.

Unreal Enginen pohjalta kehitetty Twinmotion on jo saavuttanut viime vuosien aikana huomattavan aseman rakennusalaalla tehdyn visualisointityön parissa (Mottle, J. 2022). Twinmotionin kehitystyö etenee nykyisin verrannollisesti Unreal Enginen kehitykseen, ja sen rooli osana ekosysteemiä on toimia Unreal Enginen yksinkertaistettuna sekä käyttäjäystävällisempänä vastineena. Ohjelmistojen välinen yhteensopivuus on saavuttanut niiden yhteiskäytön mahdollistavan tason, jolloin Unreal Engine toimii luontaisena jatkumona Twinmotionin ominaisuuksille (Pimentel, K. 2021).

### 3.4 Asema rakennusalalla

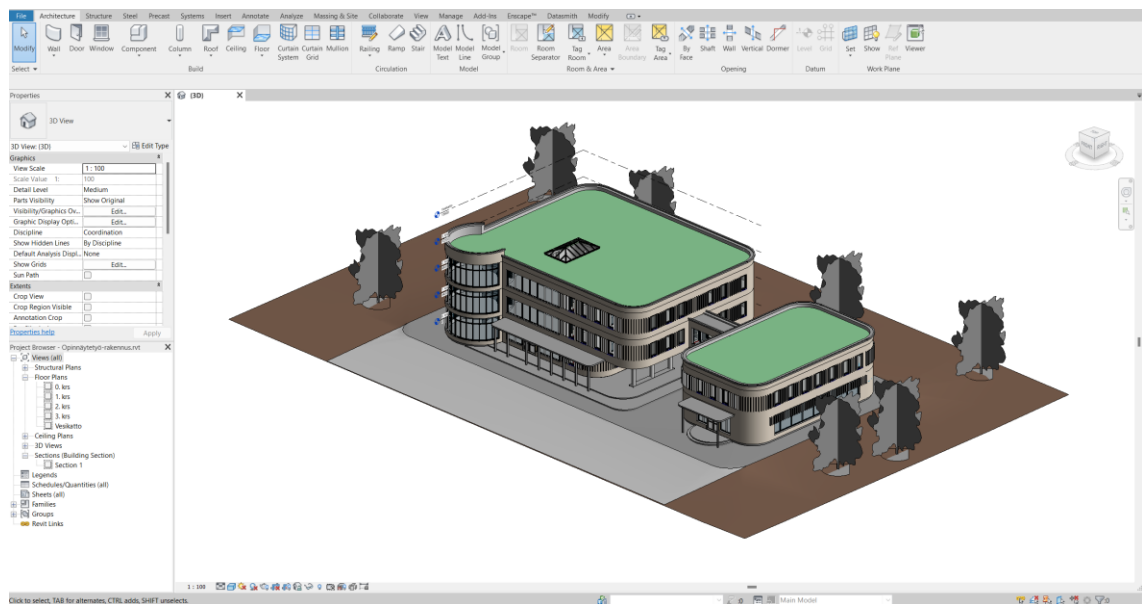
Unreal Enginen asema ja tunnettavuus rakennusalalla on verrattavissa Twinmotioniin (Mottle, J. 2022). Vaikka kyseessä on huomattavasti Twinmotionia laajempi ohjelmistokokonaisuus, myös Unreal Enginen käyttö on laajalti painottunut visualisoinnin sekä havainnekuvien luomisen pariin (Day, M. 2021). Yleisen tietoisuuden lisääntyminen sekä tarve uudenlaisen suunnitteluaineiston tuottamiselle ovat kuitenkin saaneet käyttäjät tutkimaan Unreal Enginen muita mahdollisia käyttötarkoituksia. Myös ohjelmistoa ympäröivä, kasvava ekosysteemi on ollut merkittävä tekijä Unreal Enginen yleistymisessä alalla.

Unreal Enginen jo todettuja käyttötarkoituksia on useita. Visualisointityön lisäksi kohteita ovat olleet esimerkiksi virtuaalitodellisuuden välityksellä toteutetut rakennusmallien esittelyt, koulutussimulaattorit, digitaaliset kaksoset sekä erilaiset suunnittelu- ja markkinointityökalut (Day, M. 2021). Opinnäytetyön selvitysoissa käsitellään sekä edellä mainittuja että uusia mahdollisia käyttökohteita osana arkkitehtisuunnittelua.

## 4 UNREAL ENGINEN KÄYTTÖNOTTO ARKKITEHTISUUNNITTELUSSA

### 4.1 Revit-Unreal Engine -työpolku

Tässä osiossa käsitellään Unreal Enginen käyttöönottoa osaksi tietomallinnustyötä sekä käyttöönoton vaikutuksia tietomallipohjaiseen suunnittelutyöhön. Työssä keskitytään erityisesti Autodesk Revitin sekä Unreal Enginen yhteensovittamiseen, mutta Unreal Enginen käyttöönotto on mahdollista myös muiden suunnittelutyökalujen ohella. Tietomallintamiseen käytettävän ohjelmiston valinnalla ei ole poissulkevaa vaikutusta myöhemmin esitettäviin mahdollisiin käyttökohteisiin, mutta näihin liittyvät työprosessit voivat poiketa toisistaan käytettävän mallinnusohjelman tuottaman datan sekä ominaisuuksien perusteella. Työpolun vaiheita sekä Unreal Enginen käyttökohteita demonstroidaan Revitissä opinnäytetyötä varten luodun kuvitteellisen rakennusmallin kautta, joka mukailee julkisen rakennusten piirteitä (kuva 2).



KUVA 2. Demonstroititarkoitukseen luodun rakennuksen tietomalli Revitissä (Puolanne, 2023).

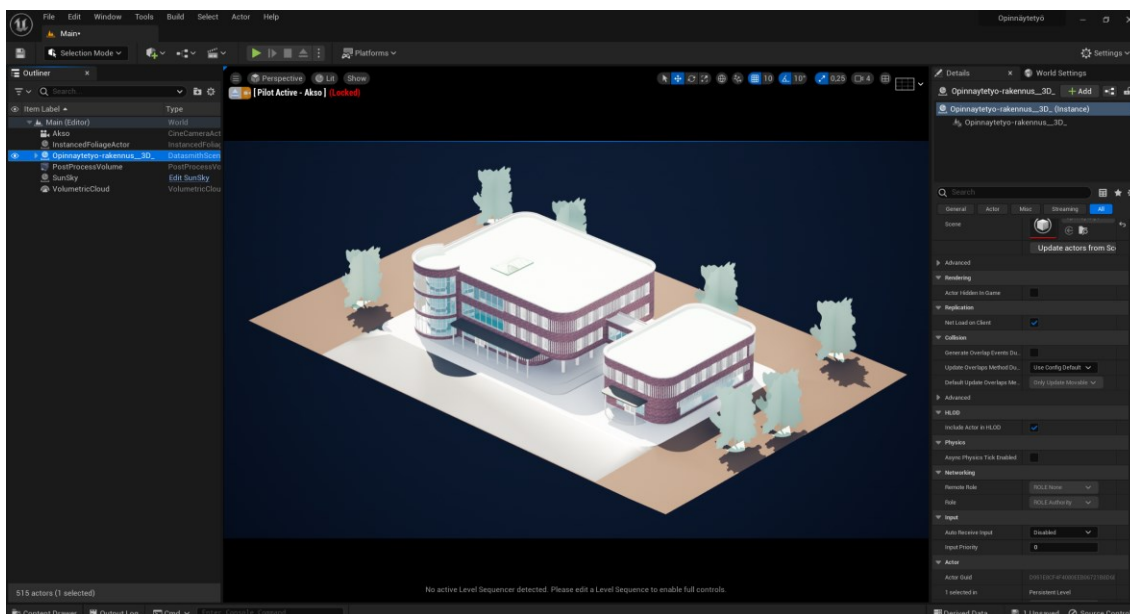
#### 4.1.1 Tiedonsiirto ja Datasmith

Jotta Revitillä luodun tietomallin voi viedä Unreal Engineen, se tulee ensin muuntaa Unreal Engineelle sopivaan tiedostomuotoon. Tätä prosessia varten hyödynnetään Unreal Engineä varten kehitettyä Datasmith -työkalua, joka mahdollistaa ohjelmien välisen tiedonsiirron automatisoinnin. Datasmith toimii käytännössä kääntäjänä eri ohjelmistojen tuottaman 3D-aineiston sekä Unreal Enginen välillä, yksinkertaistaen ohjelmien yhteensovitusta. Datasmith tulee toimiakseen ottaa käyttöön sekä Unreal Enginen asetuksissa, että Revitissä asennettavan maksuttoman lisäosan kautta. Revitin 2023.1-versiosta alkaen Datasmith -toiminnallisuus lukeutuu ohjelman oletuksena asennettaviin ominaisuuksiin (Smolker, D. 2022).

Unreal Enginen sekä Revitin välinen tiedonsiirto Datasmithin avulla onnistuu kahdella tapaa. Revitissä luodun rakennusmallin voi joko viedä kertaluontoisesti Datasmithin luettavaan .udatasmith -tiedostomuotoon ja tuoda tiedoston käsin Unreal Engineen, tai vaihtoehtoisesti on mahdollista käyttää Datasmithin Direct Link -toimintoa, joka synkronoi rakennusmallin sekä siihen tehdyt muutokset Unreal Enginen ja Revitin välillä ilman manuaalista työtä (Autodesk, 2023). Kertaluontoisen tiedonsiirron etuina synkronointiin verrattuna ovat mahdollisuus jakaa tiedosto muille suunnittelijoille sekä räätälöidä tiedonsiirtoprosessia joko ohjelmallisesti tai käyttämällä Unreal Enginen seuraavassa osiossa käsiteltävää Visual Dataprep -ominaisuutta. Kertaluontaista tiedonsiirtoa käytettäessä ei myöskään ole riskiä, että rakennusmallin ei-toivotut tai vahingolliset muutokset synkronoituisivat automaattisesti Unreal Enginen puolella olevaan virtuaalimalliin.

Tiedonsiirron aikana Revitistä Unreal Engineen siirtyy kaikki mallinnettu aineisto, joka on esillä Revitin 3D-näkymässä (kuva 3). Mallinnetun geometrian lisäksi siirrossa välittyvät myös esimerkiksi pintamateriaalit, tekstuurit, valaisimet, mittapistet sekä tietomallin elementteihin liitetyt parametrit ja ominaisuudet. Myös projektikohtaiset, itse luodut Revit-parametrit välittyvät siirron aikana. Jokainen Revitistä tuotu mallinnettu elementti siirtyy Unreal Engineen itsenäisenä objektina, joka sisältää siihen Revitissä liittyvät ominaisuudet. Datasmith myös luo automaattisesti Unreal Enginen projektihakemistoon kansiot Revitistä tuotuja malleja, materiaaleja sekä tekstuureja varten.

Datasmithiä hyödyntävä tiedonsiirtoprosessi on yksisuuntainen, eikä Unreal Enginestä ole toistaiseksi mahdollista siirtää mallinnettua aineistoa alkuperäisessä muodossaan takaisin Revitiin. Malli on kuitenkin vietävissä esimerkiksi .FBX-muotoon, mutta tällöin tiedonsiirrossa välittyvä ainoastaan mallinnettu geometria ja BIM-aineistoon liittyvä metadata, kuten rakennetyypit, parametrit ja rakennusosien ominaisuudet häviävät.



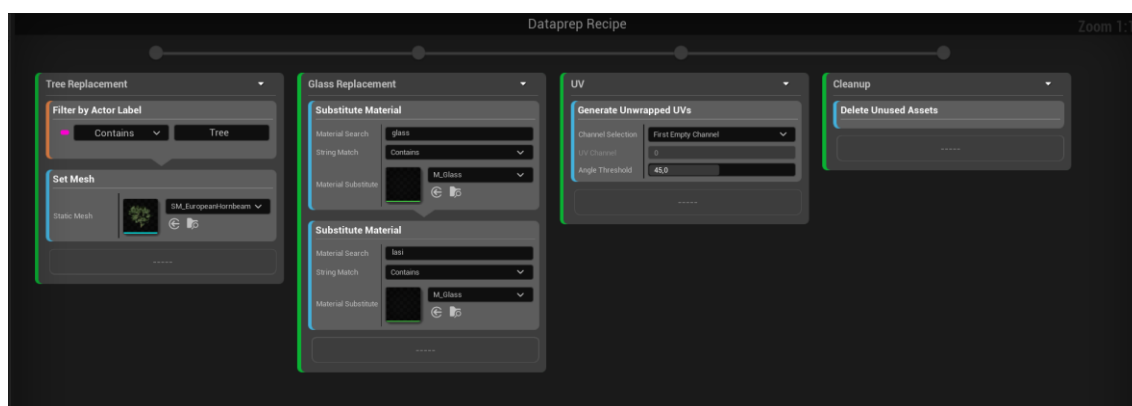
KUVA 3. Rakennuksen virtuaalimalli Unreal Enginessä Datasmith-yhteyden luonnin jälkeen (Puolanne, 2023).

CAD- tai BIM-aineiston käyttöön reaaliaikaisessa renderöinnissä on yleensä liittynyt tarve optimoida 3D-mallin geometriaa, jotta sen prosessointi olisi riittävän tehokasta. Unreal Engine 5:n uusiin ominaisuuksiin lukeutuva Nanite -järjestelmä kuitenkin mahdollistaa hyvinkin raskaiden ja optimoimattomien 3D-mallien käytön reaaliaikaisesti ilman merkittävää vaikutusta renderöinnin nopeuteen. Täten Nanite myös helpottaa ulkoisten 3D-mallikirjastojen tai fotogrammetrisen 3D-aineiston hyödyntämistä, sillä se mahdollistaa useamman laatustandardin mukaisten mallien käytön ilman tarvetta merkittävälle jatkokäsittelylle (Karis, B. 2021). Naniten käyttöönotto saattaa sulkea pois joitakin Unreal Enginen ominaisuuksia, mutta sen käyttö on tarpeen mukaan rajattavissa sekä projektikohtaisesti, että yksittäisten objektien tasolla. Nanite on toistaiseksi kehittyvää teknologiaa, ja siihen liittyvät rajoitukset sekä mahdollisuudet tulevat muuttumaan ajan saatossa.

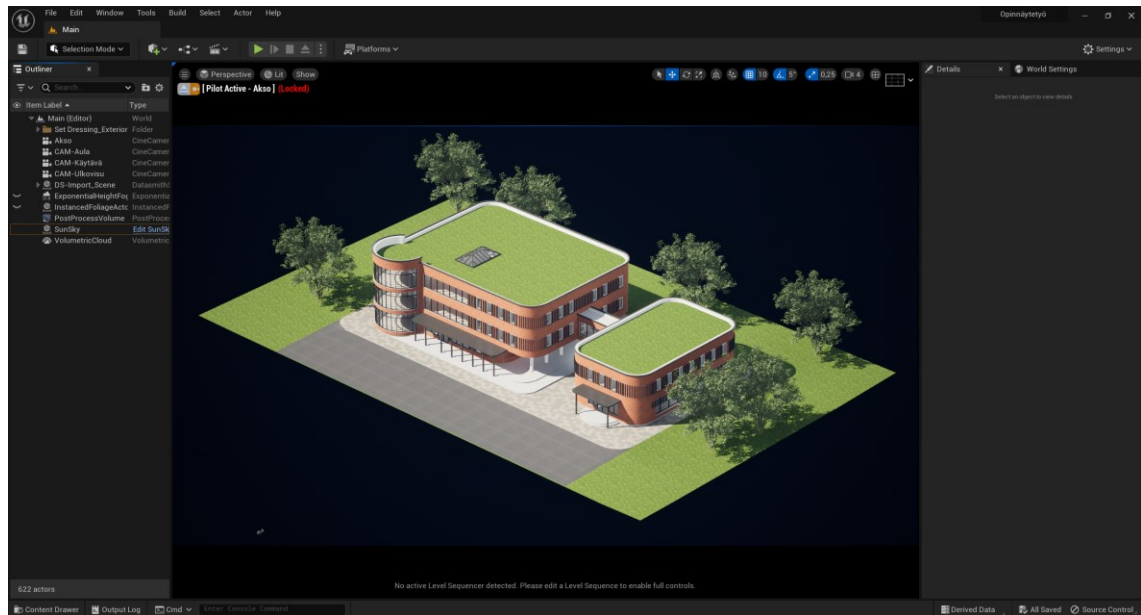
### 4.1.2 Visual Dataprep

Visual Dataprep on Unreal Enginen työkalu, jolla on mahdollista kytkeä erilaisia suodattimia sekä toimintoja Datasmithin tiedonsiirtoprosessiin. Visual Dataprep perustuu sarakemaisiin toimintoketjuihin, joiden jokaisessa vaiheessa on mahdollista käsitellä tuotua 3D-mallia halutulla tavalla. Dataprepin avulla on mahdollista esimerkiksi siivota tuodusta mallista tarpeettomia elementtejä, korvata Revisitedä tuotuja pintamateriaaleja sekä vaihtaa mahdolliset tilapäiset objektit korkealaatuisiin, visualisointiin soveltuviin 3D-malleihin (Epic Games, n.d.).

Kuvassa 4 on esimerkki yksinkertaisesta Dataprep -kaaviosta, joka ajaa edellä mainitut toiminnot tuodulle 3D-mallille, sekä siivoaa lisäksi mallin geometriaa. Kuvassa 5 on esitetty kaavion vaikutus rakennusmalliin. Kun toimintokaavio on luotu, se on mahdollista tallentaa ja käyttää uudestaan rakennusmallin muuttuessa tai soveltaa muuhun tuotavaan malliaineistoon. Luomalla räätälöityjä toimintokaavioita osaksi tiedonsiirtoprosessia on mahdollista luoda projektikohtaisesti standardoitu työpolku, joka yhtenäistää ja suoraviivaistaa tiedonsiirron ohjelmistojen välillä (Epic Games, n.d.).



KUVA 4. Vasemmalta oikealle luettava Visual Dataprep -toimintokaavio, joka ajaa sarjan yksinkertaisia 3D-mallia käsitteleviä toimintoja (Puolanne, 2023).



KUVA 5. Rakennuksen virtuaalimalli Visual Dataprep- toimintokaavion ajamisen jälkeen (Puolanne, 2023).

Visual Dataprepiä varten on mahdollista luoda myös omia toimintokaavioon upotettavia komentoja, joiden avulla voi luoda räätälöityjä säätöjä ja suodattimia osaksi tiedonsiirtoprosessia. Haluttuja lisäominaisuuksia voivat olla esimerkiksi erilaisten muuttujien liittäminen rakennusosiin niihin liittyvien parametrien perusteella, kehittyneempi objektien tai materiaalien korvaamislogiikka sekä mahdollisuus vaikuttaa yksittäisten elementtien renderöintiominaisuuksiin. Visual Dataprepin komennot sekä suodattimet perustuvat Unreal Enginen Blueprint -ohjelmointikieleen, ja myös uudet komennot on luotava Blueprintillä (Epic Games, n.d.).

## 4.2 Käyttöönnoton vaikutukset tietomallinnustyöhön

Unreal Enginen käyttöönotolla ei ole haittavaikutuksia tietomallipohjaiseen suunnittelutyöhön. Rakennusmallin vienti Revitistä Unreal Engineen ei edellytä esimerkiksi ominaisuuksien käytön välttämistä tai mallinnustavan muuttamista (Epic Games, n.d.). Rakennusmallin tarkkuus ja sen sisältämän datan määrä sekä oikeellisuus ovat kuitenkin suoraan rinnastettavissa virtuaalimallin soveltavuuteen ja muuntavuuteen eri käyttökohteisiin. Mallinnustavasta huolimatta Unreal Engine on muunneltavuutensa vuoksi mahdollista sovittaa olemassa olevan tietomallipohjaisen suunnitteluprosessin ympärille hyödyntämällä esimerkiksi Visual

Dataprep -ominaisuutta, luomalla räätälöityjä aloituspohjia sekä täydentämällä ohjelmiston toiminnallisuutta ohjelmointityökalujen avulla.

Unreal Engine toimii Revitistä tai muusta tietomallinnusohjelmasta riippumattomasti suljettuna ympäristönään. Kertaluontoista tiedonsiirtoprosessia käytettäessä tietomalliin tehdyt muutokset eivät vaikuta Unreal Enginessä olevaan virtuaalimalliin ennen prosessin suorittamista uudelleen, eivätkä Unreal Enginen puolella tehdyt muutokset virtuaalimalliin vaikuta Revitissä tehtävään suunnitteluun. Unreal Enginessä tehty työ on siis mahdollista eriyttää hankkeessa itsenäiseksi osaksi suunnittelua.

### 4.3 Yhteistyö Unreal Enginessä

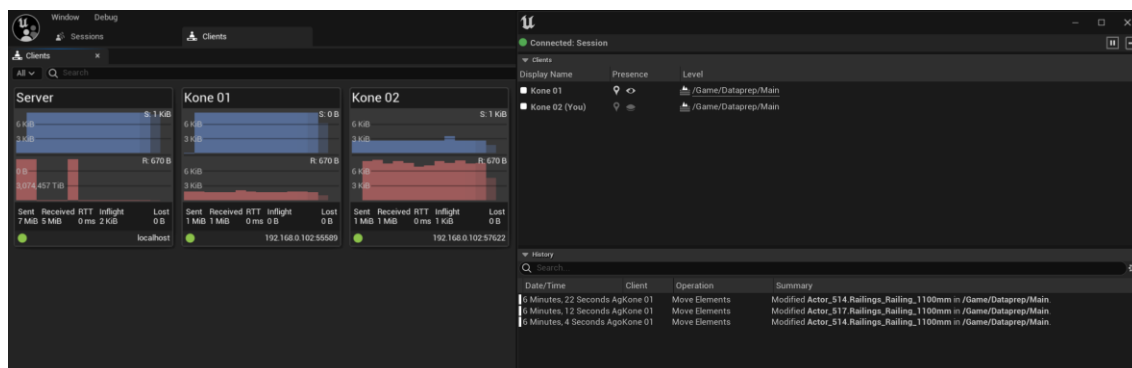
Unreal Engine mahdollistaa usean käyttäjän yhteistyön samassa projektissa. Tällöin esimerkiksi suuren hankkeen visualisointiurakka tai erilainen kehitystyö voidaan jakaa pienempiin tehtäviin työryhmän kesken ilman, että jokainen jäsen joutuisi työstämään omaa versiotaan rakennusmallista.

Pääasiallinen tapa työskennellä yhteisessä projektissa on versiohallinnan kautta. Tällöin tulee käyttää erillistä versiohallintaohjelmaa, kuten Perforcea tai SVN:ää (engl. Subversion). Versiohallintaa käytettäessä työryhmän jäsenet varaavat itselleen osia projektista työstettäväksi, ja lopuksi synkronoivat muutokset projektiin vapauttaen muokatut elementit muille ryhmän jäsenille. Jos projekti sijaitsee jaetulla palvelimella tai verkkolevyllä, mikään ei periaatteessa estä useita käyttäjiä avaamasta ja muokkaamasta projektia samanaikaisesti ilman versiohallinnan käyttöä. Tällöin on kuitenkin olemassa riski, että käyttäjät tekevät päällekkäisiä muutoksia samoihin projektin osiin, jolloin tietoja saattaa hävitä.

Vaihtoehtoinen tapa tehdä yhteistyötä Unreal Enginessä on käyttämällä ohjelmiston monikäyttäjä-tilaa (engl. Multi-User Editing). Tällöin yhteistyö tapahtuu lähiverkon tai VPN-yhteyden kautta reaaliaikaisesti saman projektin sisällä. Yhteiskäyttöä varten avataan palvelin joko yhden käyttäjän tietokoneella tai palvelimella, jonka jälkeen muut ryhmän jäsenet voivat liittyä projektiin. Monikäyttäjätilan hallintaikkunat näyttävät reaaliaikaista tietoa projektiin liittyneistä käyttäjistä ja heidän tekemistään muutoksista (kuva 6). Monikäyttäjä-tila ei ehdottomasti



vaadi versiohallinnan käyttöä, joten tällöin on mahdollista muokata myös jaetulla verkkolevyllä olevaa yhteisprojektia. Versiohallinnan käyttö on kuitenkin Unreal Enginen kehittäjän suosittelema toimenpide (Epic Games, n.d.).



KUVA 6. Unreal Enginen monikäyttötilan hallintapaneeli sekä tapahtumaikkuna (Puolanne, 2023).

## 5 UNREAL ENGINEN MAHDOLLISUUDET ARKKITEHTISUUNNITTELUSSA

### 5.1 Havainnekuvat ja visualisointi

Unreal Enginen kehittyneet reaaliaikaisen renderöinnin ominaisuudet mahdollistavat sen käytön korkealaatuisessa arkkitehtonisessa visualisoinnissa. Useimpien nykyaikaisten ohjelmien tapaan Unreal Enginen renderöintitekniikka perustuu fysiikkaperusteiseen renderöintiin ja se kykenee tuottamaan sekä staattista että liikkuvaa kuvamateriaalia (kuva 7). Vaikka usealla visualisointiohjelmalla on mahdollista saavuttaa korkea visuaalinen laatutaso, Unreal Enginen uniikit laajennus- ja kehitysominaisuudet kuitenkin avaavat mahdollisuuksia visualisointityölle, joita ei toistaiseksi löydy muista ohjelmistoista (Shannon, T. 2017).

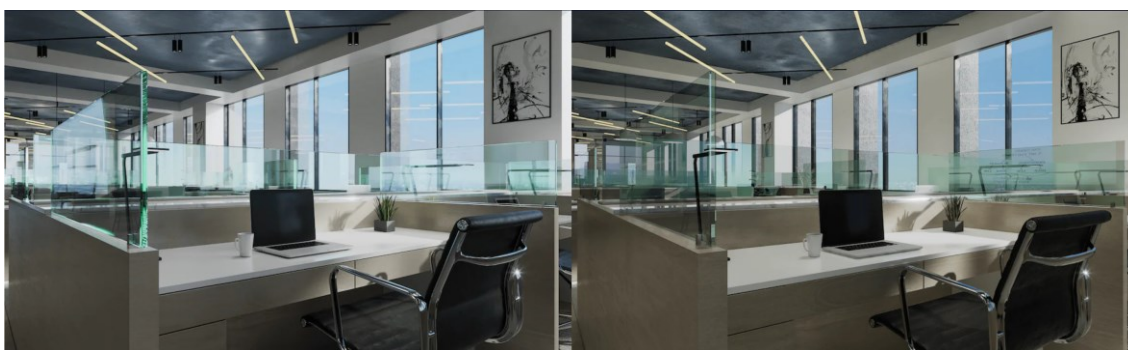


KUVA 7. Unreal Enginellä tuotettu havainnekuva rakennusmallista (Puolanne, 2023).

#### 5.1.1 Renderöinti

Unreal Engine tarjoaa kaksi pääasiallista tapaa 3D-sisällön renderöintiin: reaaliaikainen rasterointi, sekä pitkän laskenta-ajan polunseurantaan (engl. path tracing) perustuva renderöinti. Reaaliaikaisen renderöinnin lopputulos on käytän-

nössä sama kuin näytöllä työskentelyn aikana näkyvä kuva. Polunseurantaa käytettäessä renderöinti on hitaampaa, mutta lopputulos on monin puolin tarkempi, sillä rasteroinnissa monet esimerkiksi valaistukseen liittyvistä ominaisuuksista ovat optimoituja approksimaatioita, joiden avulla on mahdollista saavuttaa useimpiin tarkoituksiin riittävä visuaalinen laatu reaaliaikaisesti (O’Conor, K. 2017). Sen sijaan polunseurantaa käytettäessä renderöinti sekä siihen liittyvä laskenta tapahtuu hyvin tarkalla tasolla ja kestää niin kauan, kuin halutun visuaalisen laadun saavuttaminen vaatii. Polunseurantaa käytettäessä tietyt materiaalit, kuten lasi sekä hyvin heijastavat pinnat ovat esitykseltään autenttisempia, sillä valon hajominen ja heijastuminen materiaalien sisällä simuloidaan tarkasti sädetasolla (kuva 8) (Epic Games, 2022).

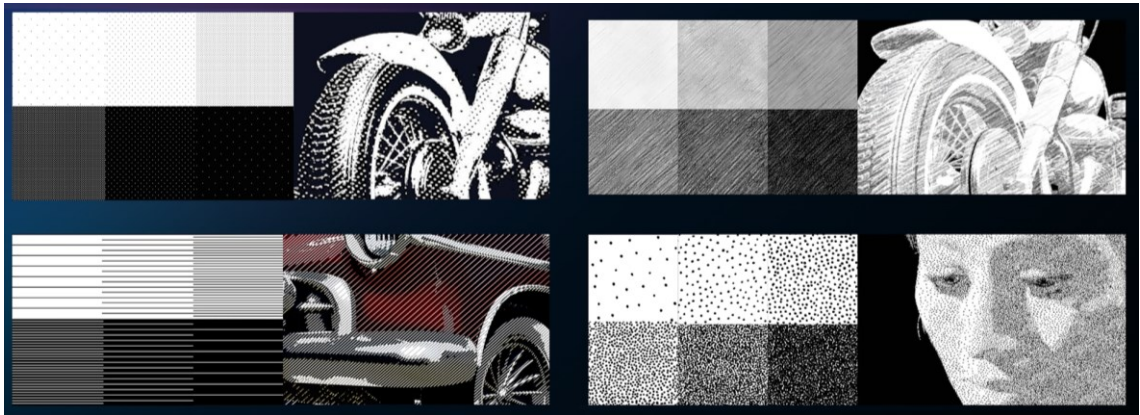


KUVA 8. Polunseurannan (vas.) vaikutus valaistukseen ja materiaalien esitykseen, sekä ero reaaliaikaisesti rasteroituun kuvaan (Epic Games, 2022).

Renderöintitapaa on mahdollista vaihtaa milloin tahansa ilman, että malliin tai projektiin joutuisi tekemään runsaasti muutoksia – tapojen soveltuvuudesta eri käyttötarkoituksiin tulee kuitenkin olla tietoinen. Hitaamman luonteensa vuoksi polunseuranta sopii pääasiassa korkealaatuisten staattisten kuvien sekä videomateriaalin luomiseen, eikä niinkään interaktiivisiin tarkoituksiin tai tilaisuuksiin, jossa reaaliaikainen visuaalinen palaute on ehdotonta. Reaaliaikainen renderöinti taas sopii käytännössä kaikkiin tarkoituksiin, mukaan lukien kuva- ja videomateriaalin tuottamiseen, visuaalisen laatuero huomioon.

Unreal Enginen 3D-näkymän visuaalinen tyyli on pitkälti räätälöitävissä, mikäli realistisesta esitystavasta on tarve poiketa. Luomalla esimerkiksi erilaisia näyttösuotimia sekä valon ja varjojen piirtymistä ohjaavia pintamateriaaleja, on mahdollista tuottaa visuaalista aineistoa usealla eri tyylillä (kuva 9) (Epic Games,

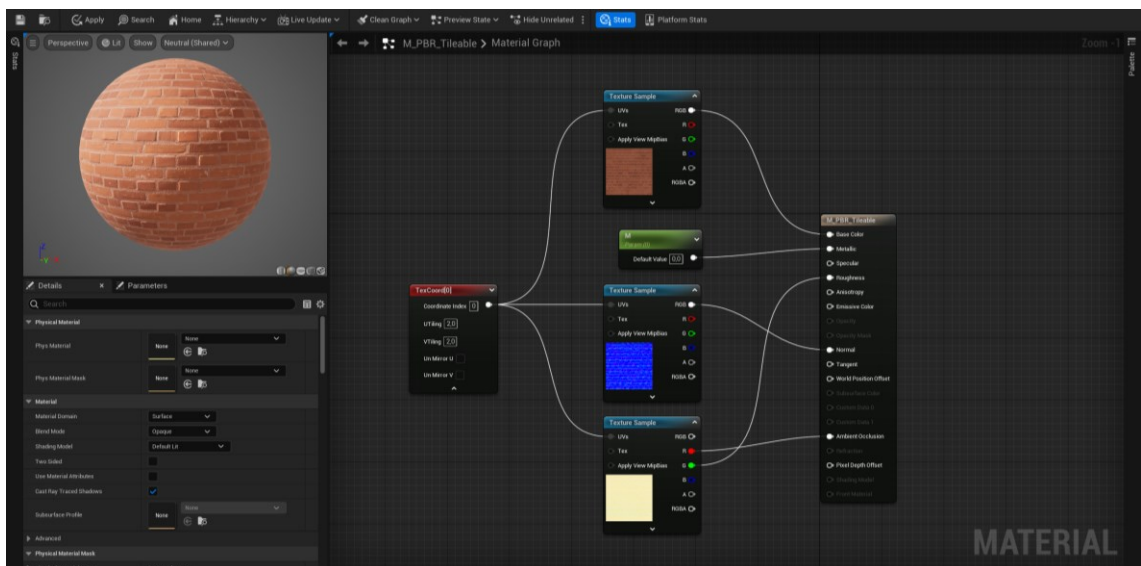
2022). Tyylejä voi myös rajata vain tiettyihin 3D-näkymän elementteihin tai objekteihin, joka mahdollistaa erilaisten esitystapojen yhdistelyn samassa näkymässä esimerkiksi tehokeinona.



KUVA 9. Erilaisia räätälöityjä esitystapoja ja niiden vaikutus 3D-näkymän sisältöön (Epic Games, 2022).

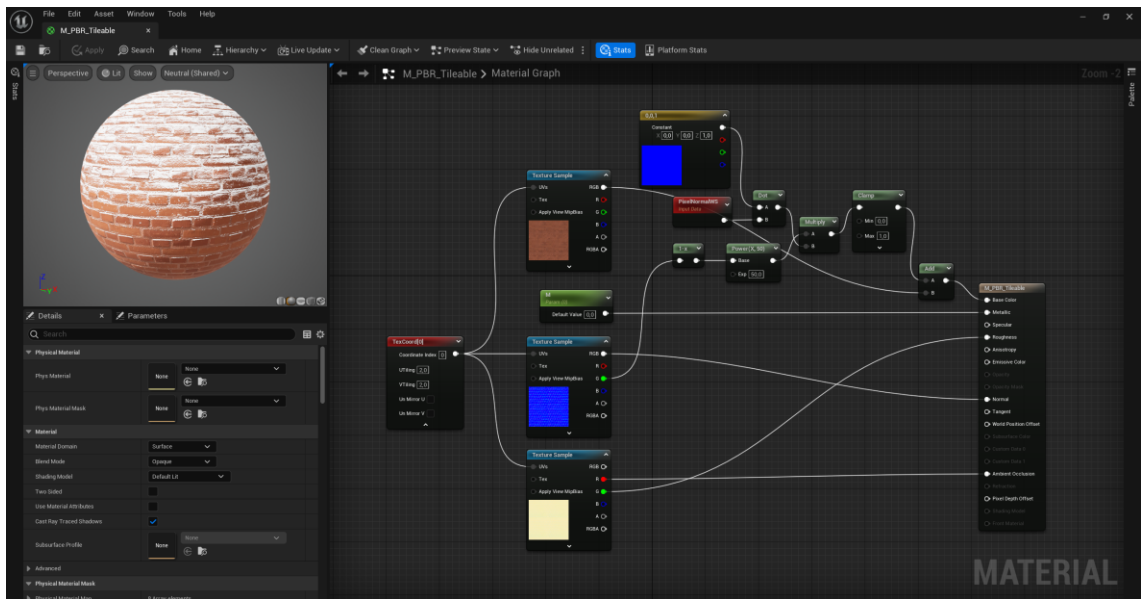
### 5.1.2 Materiaalieditori

Unreal Enginen graafinen materiaalieditori mahdollistaa monipuolisten sekä muunneltavien pintamateriaalien luomisen (kuva 10). Materiaaleihin voi liittää erilaisia interaktiivisesti säädettäviä parametreja, jotka ohjaavat muun muassa pinnan heijastavuutta, pintakuvion suuntaa tai pinnan kohokuvioinnin vahvuutta. Tämä mahdollistaa esimerkiksi erilaisten materiaalivaihtoehtojen esittelemisen reaaliaikaisesti rakennussuunnitteluhankkeen asiakastilaisuudessa.



KUVA 10. Yksinkertainen PBR-materiaali Unreal Enginessä (Puolanne, 2023).

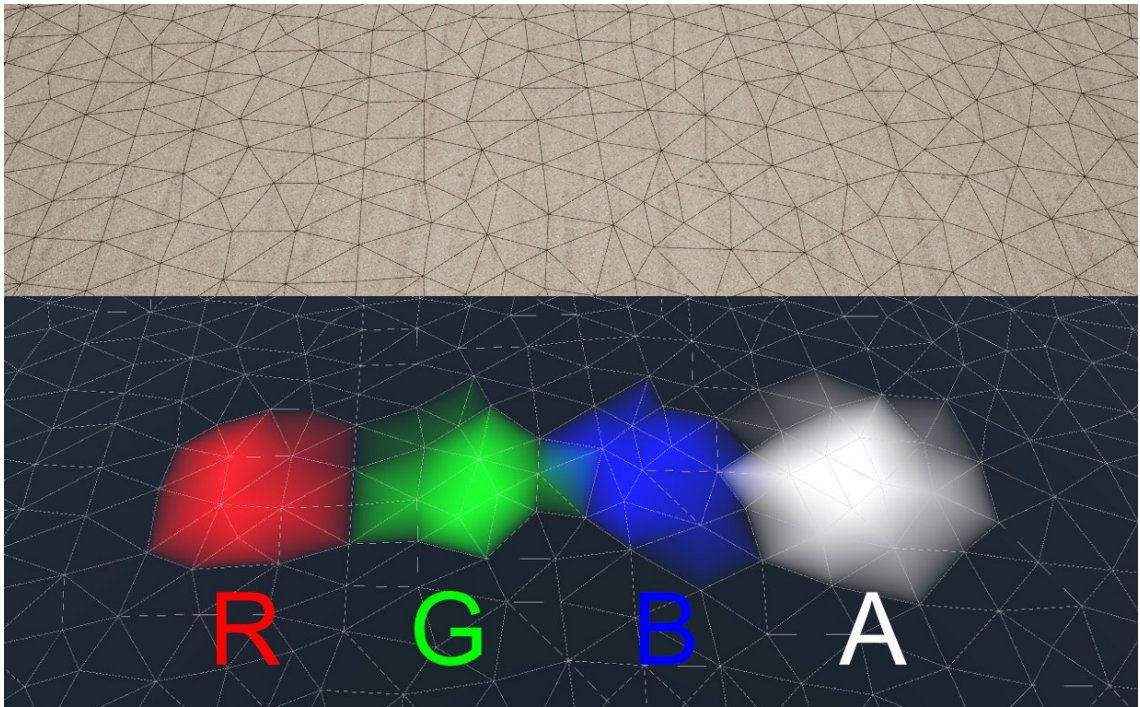
Materiaalien luonnissa on myös mahdollista hyödyntää Unreal Enginen renderintivaiheessa muodostamaa dataa, kuten 3D-näkymän syvyyskarttaa tai 3D-geometrian pintanormaaleja, ja tämän pohjalta luoda esimerkiksi materiaaleja, jotka reagoivat muihin 3D-tilassa oleviin elementteihin tai sijaintiinsa tilassa. Materiaaleihin on täten mahdollista lisätä esimerkiksi vuodenaikakohtaisia säätöjä, kosteuskertymää tai kasvillisuutta, joka sopeutuu automaattisesti pinnan muotoihin (kuva 11).



KUVA 11. Aiempaan materiaaliin lisätty automaattinen, pinnan kohokuviointiin sekä 3D-geometrian suunnan huomioiva lumipeite (Puolanne, 2023).

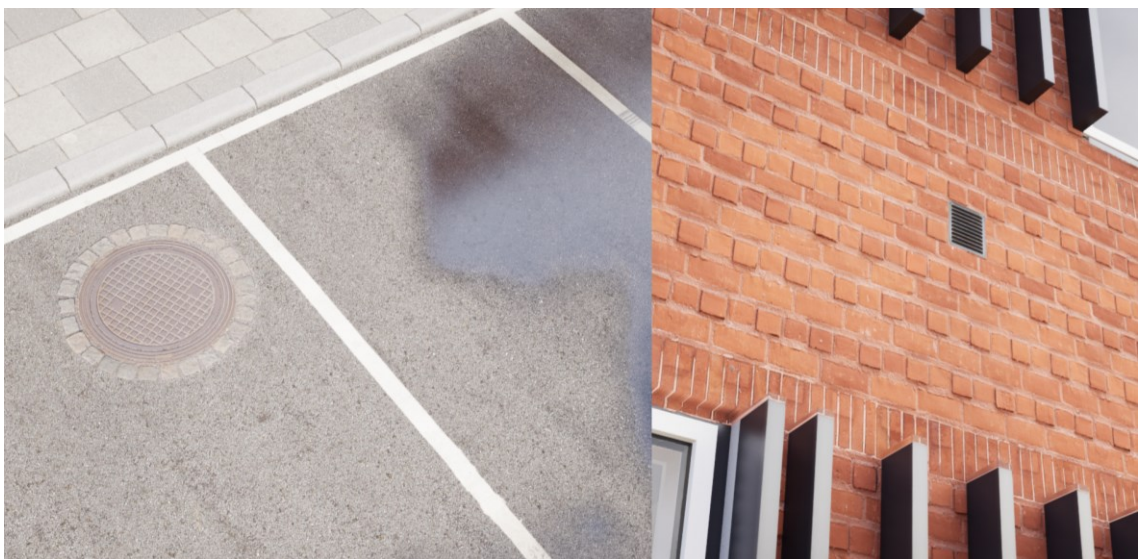
Materiaalieditorin avulla on myös mahdollista hyödyntää käsin luotuja geometriatason maskeja, joita voi luoda Unreal Enginen maalaustyökaluilla. 3D-geometrian vertekseihin liitettävä RGBA-väridata mahdollistaa neljän erilaisen värikanavakohtaisen maskin luomisen, jolla voi rajata esimerkiksi erilaisia materiaalitehosteita tai sekoittaa erilaisia tekstuureita keskenään (kuva 12). Tyypillisten kuvatekstuurien sijaan geometriaan pohjautuvien maskien avulla voi luoda harkittuja rajauksia suoraan 3D-geometrian pinnalle ilman, että maskit pitäisi ensin tuottaa ulkoisella kuvaeditorilla ja sen jälkeen linjata geometrian pinnalle, vaatien geometrian UV-koordinaattien säätelyä.





KUVA 12. 3D-maastomallin geometriarakenne, jonka vertekseihin on lisätty kanavakohtainen väritys (Puolanne, 2023).

Materiaalieditori mahdollistaa myös monimutkaisten "tarraobjektien" luonnin, jotka projisoivat yksityiskohtia 3D-geometrian pinnalle. Editorin ansiosta tarrat voivat olla esimerkiksi yksinkertaisia maalauksia tai teippauksia, mutta tarrojen avulla on myös mahdollista luoda esimerkiksi vapaasti sijoiteltavia rakennustai-teellisia yksityiskohtia tai erilaista rekvisiittaa (kuva 13). Tarroihin on myös mahdollista lisätä esimerkiksi katselukulmasta riippuvia yksityiskohtia, animaatioita muihin pintamateriaaleihin vaikuttavia ominaisuuksia.

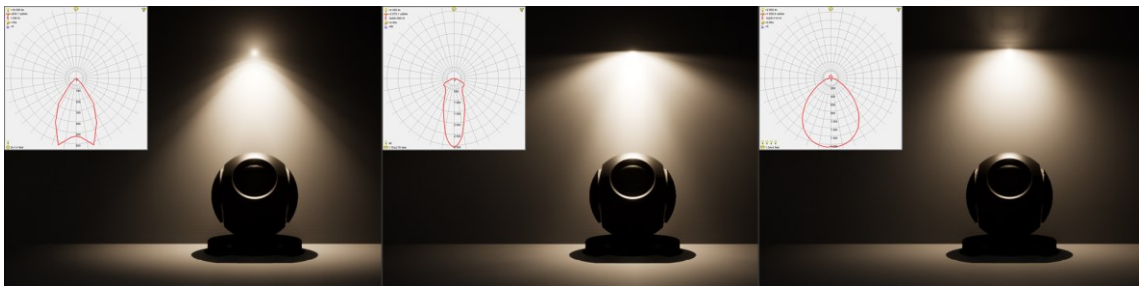


KUVA 13. Tarraobjektien avulla luotuja yksityiskohtia. (Puolanne, 2023).

### 5.1.3 Valaistussuunnittelu

Vaikka Unreal Engine ei itsenäisesti kykene tuottamaan mittatarkkaa valaistusaineistoa, sen todellisiin yksiköihin perustuvat valaistustyökalut sekä valon simuloituminaisuudet mahdollistavat luonnostasoisesta valaistussuunnittelun. Reaaliaikaisen renderöinnin ansiosta erilaisia valaistusratkaisuja on mahdollista tutkia nopeasti sekä interaktiivisesti. Materiaalieditorin avulla on myös mahdollista luoda ja havainnollistaa monimutkaisiakin valonlähteitä, kuten esimerkiksi sairaalaympäristössä käytettävää tekoluonnonvaloa, joka muuntuu kellonajan tai katsojan mukana.

Todellisen intensiteetin sekä lämpötilan lisäksi valonlähteissä on mahdollista käyttää valaisinvalmistajien IES-profiileja, jolloin voidaan tutkia todellisten valaisinvaihtoehtojen vaikutusta tilaan (kuva 14). IES-profiilit ovat tekstitiedostoja, jotka sisältävät tiedon todellisen valon lähteen eri suuntiin mitatusta intensiteetistä, huomioiden esimerkiksi polttimon muodon sekä valon mahdollisen hajotuksen (Epic Games, n.d.). IES-profiilit ovat 3D-visualisoinnissa ja -suunnittelussa yleisesti käytetty tiedostomuoto, ja niitä on saatavilla ilmaiseksi usean valaisinvalmistajan tuotesivuilta.



KUVA 14. Esimerkki erilaisten IES-profiilien vaikutuksesta valonlähteen muotoon (Epic Games, n.d.).

### 5.1.4 Videotuotanto

Unreal Enginen Sequencer -animaatiotyökalu mahdollistaa monimutkaisen liikuvan kuvamateriaalin tuottamisen. Sequencerin avulla voi luoda Unreal Enginen interaktiivisia ominaisuuksia sekä parametreja hyödyntäviä animaatioita yleisellä

avainkehys-periaatteella (engl. keyframing), jota käytetään myös erilaisissa videoeditointi- sekä animaatio-ohjelmissa (Shannon, T. 2017).

Unreal Enginen etuna videotuotannossa on mahdollisuus dynaamisesti ja monipuolisesti muokata videon esitystapaa sekä siinä esitettävää tilannetta (kuva 15). Animaatioiden aikana voi ohjata muun muassa yksittäisiin objekteihin, valaistukseen, kameraan, materiaaleihin tai näytön esitystapaan liittyviä parametreja, sekä ajaa ohjelmallisia komentoja, joiden kautta havainnollistetaan esimerkiksi erilaisten järjestelmien toimintaa. Staattisen rakennusmallin sijaan yksittäiseen videoon on siis mahdollista sisällyttää runsas määrä esitettävää aineistoa.



KUVA 15. Otteita Unreal Enginellä tuotetusta videosta, jossa rakennusmalli puretaan kerroksittain sitä kierrettäessä (Puolanne, 2023).

## 5.2 Virtuaalimallin toiminnallisuuden laajentaminen

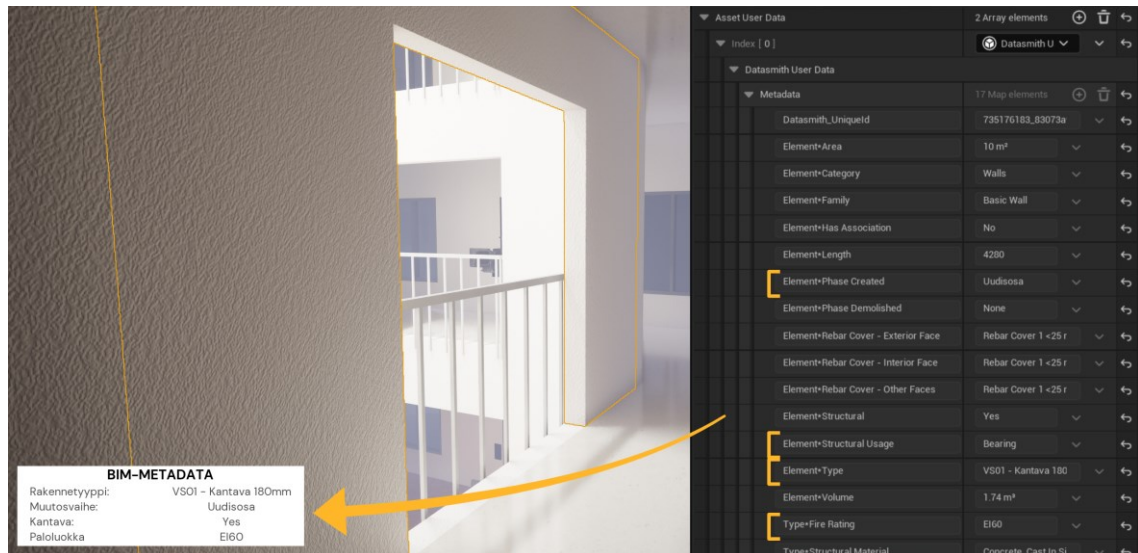
### 5.2.1 BIM-datan esittäminen ja hyödyntäminen

Hyödyntämällä Unreal Enginen tuotua BIM-dataa on mahdollista luoda vaihtoehtoisia tapoja rakennukseen liittyvän tiedon esittämiseksi, sekä kehittää dataan perustuvia toimintoja tai työkaluja. Pääasiallinen tapa tulkita rakennusosiin sidottua informaatiota on Blueprint-ohjelmointikielen kautta, jonka avulla tiedon pohjalta voi tehdä erilaista laskentaa tai muutoksia esimerkiksi materiaaleihin sekä 3D-näkymän elementteihin. BIM-data on tulkittavissa myös jo tiedonsiirtovaiheessa Visual Dataprep -työkalun kautta, jonka avulla malliin voidaan tuontivaiheessa tehdä kevyitä muutoksia rakennusosien tietojen perusteella.

Yksinkertainen tapa yhdistää Unreal Enginen Blueprint -ohjelmointikieli sekä rakennusmalliin liittyvä data on luoda käyttöliittymä, jolla halutun elementin data



esitetään räätälöidyssä sekä yksinkertaistetussa muodossa (kuva 16). Käyttöliittymään voi myös lisätä mahdollisuuden interaktiivisesti poimia 3D-näkymästä elementin, jonka tietoja haluaa tarkastella. Toiminnallisuuden avulla elementteihin liittyvän datan voi esittää helpommin lähestyttävässä muodossa ilman, että esittelytilaisuuden aikana olisi tarvetta raskaalle tietomallille tai yksityiskohtaisille piirustuksille.



KUVA 16. Esimerkki valitun rakennusosan BIM-datan esittämisestä räätälöidyn käyttöliittymän avulla (Puolanne, 2023).

Vaihtoehtoinen tapa havainnollistaa rakennusosien dataa visuaalisessa muodossa on käyttämällä Unreal Enginen Custom Stencil -ominaisuutta. Tällöin dataa tulkitaan Blueprint -ohjelmointikielen sijaan räätälöidyn post process -materiaalin kautta, joka myös määrittää rakennusosien esitystavan. Post process-materiaalit rakentuvat muiden Unreal Enginen materiaalien tavoin, mutta 3D-objektien sijaan ne vaikuttavat koko näytölle piirtyvään kuvaan pikselitasolla, mahdollistaen erilaisten suodinten sekä tehosteiden luomisen.

Custom Stencilin avulla rakennusosiin voi liittää post process-materiaalille välittyvän numeerisen arvon, jota hyödynnetään perustana esimerkiksi elementtien värikoodauksessa. Tällöin voi esittää tietyt 3D-näkymän elementit, kuten purettavat tai kantavat rakenteet muista poikkeavalla tavalla (kuva 17). Kehittyneempää esitystapaa varten post process-materiaalin osana voi hyödyntää myös erilaisia rastereita tai suotimia, jotka esittävät epäolennaiset rakennusosat esimerkiksi mustavalkoisina.



KUVA 17. Rakennusmallin kantavia rakenteita esitettynä sinisellä ja purettavia rakenteita punaisella hyödyntämällä Custom Stencil -ominaisuutta (Puolanne, 2023).

### 5.2.2 Käyttäjälähtöinen interaktiivisuus

Unreal Enginen avulla on mahdollista luoda suunnittelun ja kommunikoinnin avuksi interaktiivisia työkaluja sekä ohjelmia, joiden kautta voi esimerkiksi esittää erilaisia vaihtoehtoja valaistuksen, tilajärjestelyiden tai kalustamisen osalta. Interaktiivisuus myös mahdollistaa rakennusmalliin perustuvien koulutus- tai simulaatiotyökalujen kehittämisen, joiden avulla voidaan havainnollistaa tai perehdyttää käyttäjiä rakennuksen toimintaan ennen sen valmistumista.

Tässä työssä havainnollistavana esimerkkinä interaktiivisuuden mahdollisuuksista käytetään yksinkertaista tyyppitilakonfiguraattoria (kuva 18). Konfiguraattori on kokonaisuus, joka hyödyntää Unreal Enginen Visual Dataprep -ominaisuutta, Blueprint -ohjelmointikieltä, Revitistä tuotua BIM-dataa sekä materiaalieditorin parametrisuutta. Konfiguraattorin avulla käyttäjä voi perehtyä rakennuksen yksittäisiin tiloihin sekä tehdä muutoksia niiden järjestelyihin tai pintamateriaaleihin. Työkalua voi laajentaa tarpeiden mukaan tarjoamalla käyttäjälle esimerkiksi mahdollisuuden vapaasti siirrellä tai lisätä tilan kalusteita, kävellä tilassa virtuaalisesti tai piirtää tilaan uusia väliseinärakenteita.



KUVA 18. Unreal Enginellä luodun tyyppitilakonfiguraattorin käyttöliittymä sekä eri valintojen vaikutus tilaan (Puolanne, 2023).

Muita Unreal Enginen tarjoamia interaktiivisia mahdollisuuksia ovat esimerkiksi mittaaminen 3D-mallissa, mekaanisten tai sähköisten järjestelmien käyttö virtuaalisesti sekä opastetun kiertueen järjestäminen rakennusmallissa. Unreal Engine myös tukee useita virtuaalitodellisuusjärjestelmiä, joiden avulla käyttäjä on mahdollista osallistaa esittelykokemukseen entistä syvemmin.

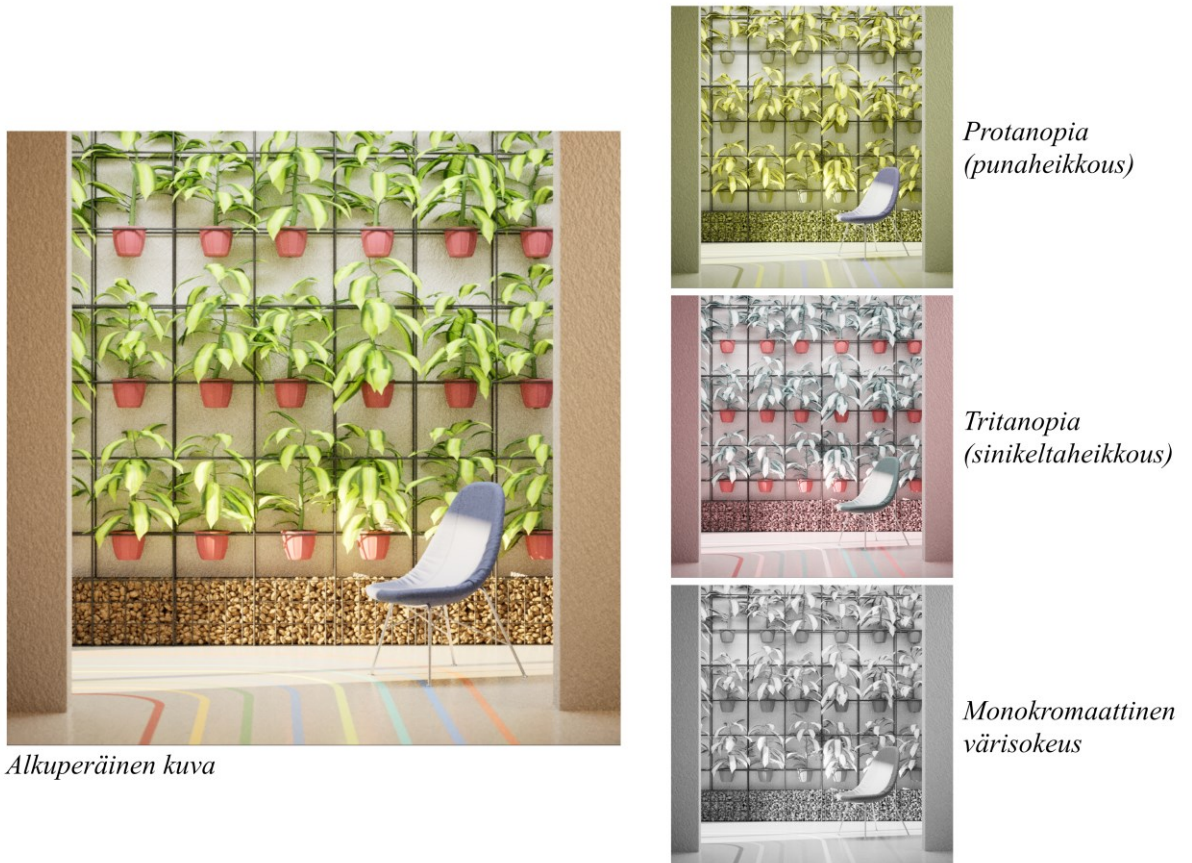
### 5.3 Rakennusmallin virtuaalinen esteettömyyskartoitus

#### 5.3.1 Värinäön heikkouden simulointi

Käyttämällä Unreal Enginen post process-materiaaleja on mahdollista muuntaa näytöllä olevan kuvan väritoistoa simuloimaan värinäön heikkoudesta kärsivän käyttäjän näkökulmaa. Väriheikkouden simuloimiseksi Unreal Enginen toistamat värit muunnetaan sRGB-tilasta niin sanottuun LMS-väritilaan, jonka kolme värikanavaa vastaavat ihmisen silmässä olevia kolmenlaisia värinäön mahdollistavia tappisoluja. Tämän jälkeen värejä muokataan tapauskohtaisesti erilaisten matriisien avulla, ja tulos muutetaan takaisin näyttöpäätteen toistamaan väritilaan lopullisen kuvan tuottamiseksi (Schmitz, J. 2016).

Edellä mainittua tapaa hyödyntäen on mahdollista simuloida esimerkiksi protanopiaa, deuteranopiaa, tritanopiaa sekä monokromaattista värisokeutta reaaliaikaisesti Unreal Enginen 3D-näkymässä (kuva 19). Simuloinnin vahvuutta on myös

mahdollista säätää tapauskohtaisesti, mikäli kyseessä on vain lievä heikkous. Värinäön heikkoutta simuloimalla voidaan tehdä johtopäätöksiä esimerkiksi erilaisten pintojen erottuvuudesta, valaistuksen värisävyjen vaikutuksesta tilan tulkittavuuteen sekä opasteiden tai yksityiskohtien luettavuudesta ennen rakennuksen valmistumista. Simuloinnin yhteydessä on kuitenkin huomioitava vaikeus todentaa tulosten oikeellisuus, sillä puhtaasti laskennallinen simulaatio ei pysty huomioimaan esimerkiksi väriheikkoudesta kärsivien välillä olevia pieniä poikkeamia. Myös käytetyn näyttöpäätteen väritoistolla on kriittinen vaikutus tulosten todenmukaisuuteen (Schmitz, J. 2016). Simuloinnin tulokset ovat siis suuntaa antavia.



KUVA 19. Sisätilänäkymä Unreal Engineessä simuloituna eri värinäön heikkouksien omaavien katsojien näkökulmasta (Puolanne, 2023).

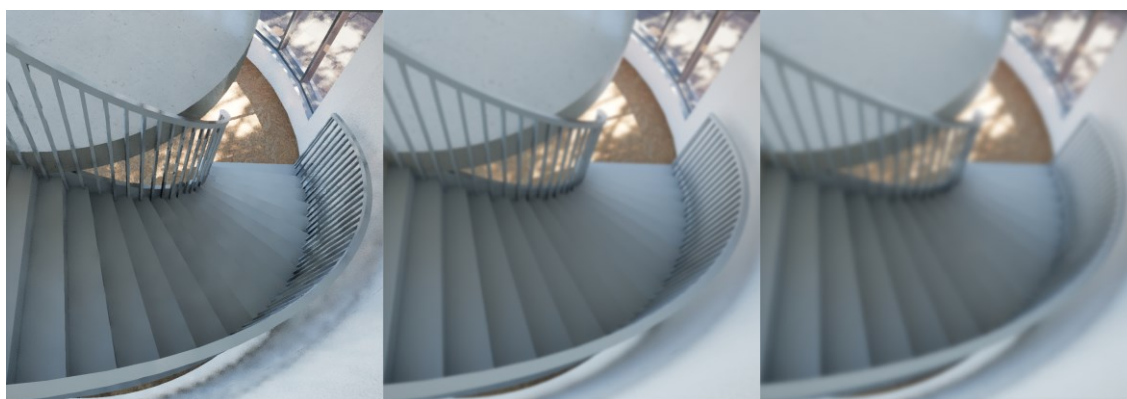
### 5.3.2 Heikkonäköisyyden simulointi

Unreal Enginen post process-materiaalien avulla on mahdollista sumentaa näytölle piirtyvä kuva reaaliaikaisesti heikkonäköisyyden simuloimiseksi. Ohjelmisto



tarjoaa myös valmiita tapoja kuvan sumentamiseen, mutta opinnäytetyössä esitetty ratkaisu valittiin sen säädettävyyden sekä muunneltavuuden vuoksi. Post process-materiaalin käyttö myös mahdollistaa esimerkiksi sumennuksen voimakkuuden säädön etäisyyden perusteella sekä liki- että kaukonäköisyyden simuloimiseksi. Ratkaisu myös sallii korkealaatuisen Gauss-sumennuksen (engl. Gaussian blur) käytön optimoidun, mutta heikkolaatuisemman sumennustavan sijaan.

Hyödyntämällä sumennustoimintoa voi tehdä johtopäätöksiä erilaisten pintojen, opasteiden tai kalusteiden erottuvuudesta rakennetussa ympäristössä. Esimerkiksi porrasaskelmien tai tasanteiden puutteellinen havaittavuus korostuu vahvasti kuvaa sumennettaessa (kuva 20).



KUVA 20. Näytön sumentamisen korostava vaikutus porrasaskelmien puutteelliseen erottuvuuteen virtuaalimallissa (Puolanne, 2023).

### 5.3.3 Valaistus, heijastukset ja varjokuviot

Suuret valaistuserot ulko- ja sisätilojen välillä aiheuttavat häikäistymistä hämäristä kirkkaaseen tilaan mentäessä. Häikäistymistä voidaan estää valaisemalla ulkotilaan liittyvät sisätilat riittävän voimakkaasti, käyttämällä häikäisemättömiä valaisimia tai välttämällä kiiltäviä pintamateriaaleja (Invalidiliitto, 2019). Hyödyntämällä PBR- materiaaleja sekä todellisia valaistusyksiköitä Unreal Engineissä, on mahdollista saada melko tarkka käsitys materiaalivalintojen sekä valaisinten vaikutuksesta rakennuksen tiloihin ja niiden havaittavuuteen (kuva 21). Myös valojen muodostamat varjokuviot ovat olennainen osa tilan tulkittavuutta.



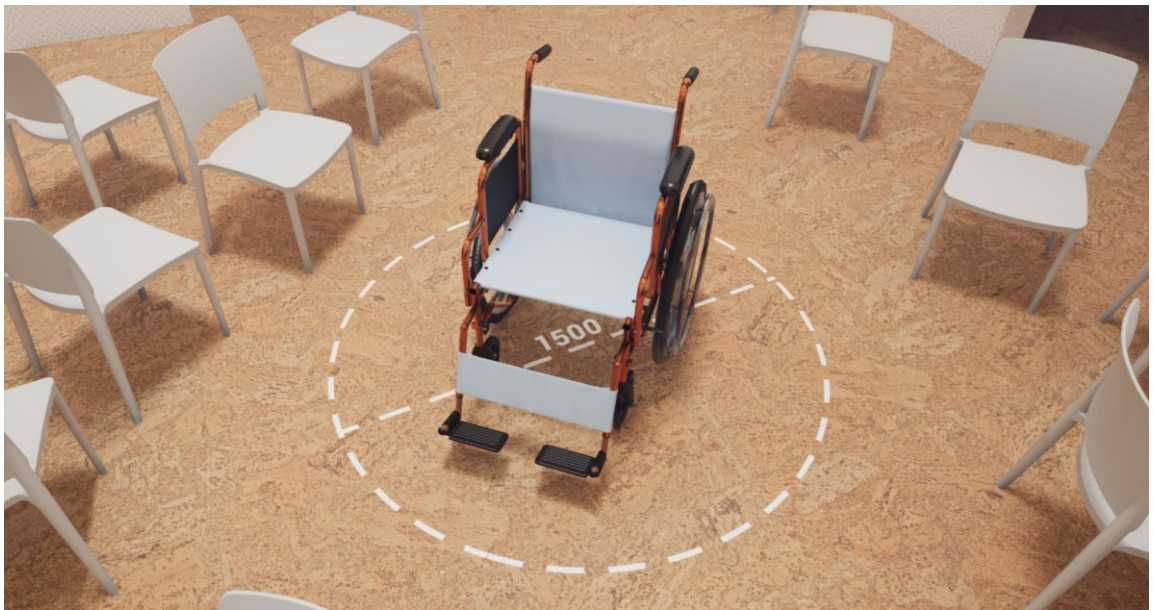
KUVA 21. Lattian pintamateriaalin sekä täytevalon lisäämisen vaikutus häiritsevien heijastuksien muodostumiseen (Puolanne, 2023).

### 5.3.4 Erilaisten käyttäjäryhmien simulointi

Hyödyntämällä Unreal Enginen interaktiivisuutta, rakennuksen virtuaalimallissa on mahdollista kulkea erilaisin liikkumismuodoin sekä erilaisten käyttäjien näkökulmasta. Näin rakennusmallia on mahdollista tutkia esimerkiksi pyörätuolin käyttäjän tai lapsen asemasta. Yksinkertaisen kävelytoiminnallisuuden lisääminen rakennusmalliin onnistuu helpoiten käyttämällä Unreal Enginen valmiita toimintokirjastoja, mutta muiden liikkumismuotojen lisääminen vaatii toiminnallisuuden luomista Blueprint- tai C++ -ohjelmointikielillä.

Eri kokoiset ja erilaisia liikkumismuotoja käyttävät ihmiset vaativat myös ympärilleen erilaisen määrän tilaa. Esimerkiksi Invalidiliiton (2019) tilojen kartoitusohjeen mukaan kaikissa tiloissa tulisi olla pyörätuolilla kääntymiseen vähintään 1500 mm vapaata tilaa (Invalidiliitto, 2019). Tilaa saatetaan myös tarvita logistisesti erilaisten varusteiden tai kalusteiden liikuttamiseen.

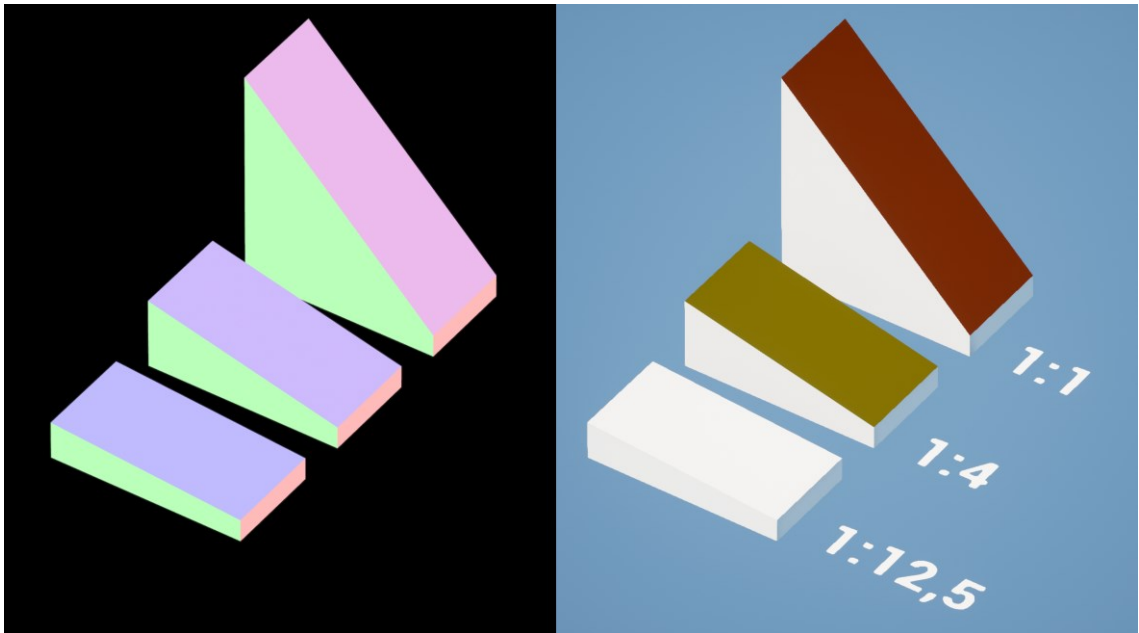
Unreal Engineissä tilavarausten esitystapa on täysin räätälöitävissä, mutta toiminnallisuus on luotava itse. Yksinkertaisimmillaan toiminnallisuuden voi kuitenkin mallintaa liittämällä mallissa liikkujan ”jalkoihin” on säädeltävissä olevan pyörähdysympyrän, joka havainnollistaa tilojen mitoituksen 3D-tilassa. On myös mahdollista luoda Revitissä uusi tilavarausta kuvastava mittaparametri sen vaativille elementeille, lukea mitta Unreal Engineissä ja automaattisesti generoida pyörähdysympyrät tai muut tilavarausta havainnollistavat objektit elementtien kohdalle (kuva 22).



KUVA 22. Pyörätuoli-objekti, johon on liitetty tilavarausta havainnollistava pyörähdysympyrä (Puolanne, 2023).

### 5.3.5 Pintojen kaltevuuksien kartoittaminen

Unreal Enginen post process-materiaalien sekä renderöinnin aikana 3D-tilasta muodostettujen kuvakarttojen yhdistäminen mahdollistaa erilaisten näyttötehosteiden rajaamisen 3D-geometrian ominaisuuksien perusteella. Esimerkiksi Unreal Enginen tuottama tilanormaalikartta (engl. world space normal) sisältää jokaisen pinnan normaalivektorin muunnettuna RGB-väriksi. Hyödyntämällä normaalikarttaa on mahdollista sisällyttää jokaisen pinnan suunta 3D-tilassa osaksi näyttötehosteen laskentaa tai rajausta, ja täten esittää erilaisia kaltevuuksia vaikkapa värikoodein (kuva 23).



KUVA 23. 3D-näkymän pintanormaalit sekä niiden pohjalta värikoodattuja kaltevuuksia virtuaalimallissa (Puolanne, 2023).

Kaltevuuksien havainnollistamisen lisäksi kyseinen toiminnallisuus voi toimia myös laadunvarmistuksen välineenä monta suunnittelijaa työllistävässä projektissa, jossa työskentään yhteistä rakennusmallia. Korostamalla kaltevuudet virtuaalimallissa on mahdollista nopeasti havaita mahdolliset virheet tai puutteet esimerkiksi luiskissa tai maanpinnantasauksissa. Virtuaalimallin pohjalta voi myös havaita ristiriitaisuuksia mallinnetun aineiston sekä mahdollisen piirretyn aineiston välillä.

#### 5.4 Digitaalinen kaksonen

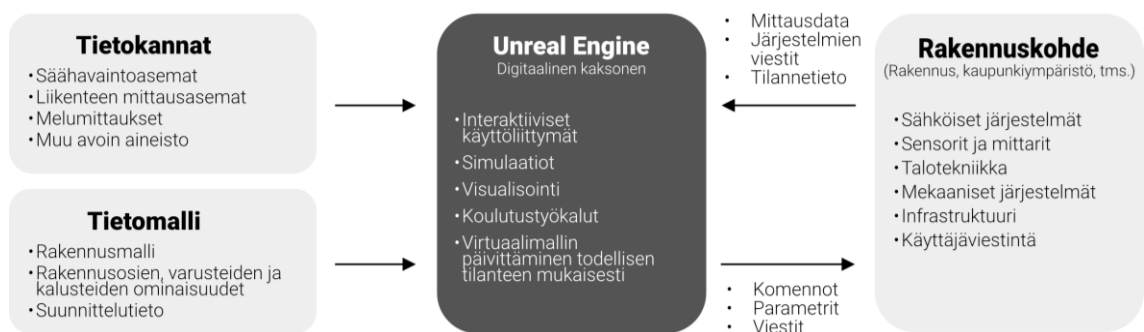
Digitaalinen kaksonen on dynaaminen virtuaalinen kopio rakennetusta kohteesta, joka voi olla esimerkiksi yksittäinen rakennus tai kokonainen kaupunki. Tietomallin tavoin se saattaa sisältää tietoa aina rakennusosista taloteknisiin järjestelmiin saakka, mutta staattisen tiedon sijaan digitaalinen kaksonen päivittyy jatkuvasti fyysisestä rakennuksesta kerättävällä ajantasaisella tiedolla. Fyysisestä rakennuksesta kerätään dataa esimerkiksi anturoiden, automaatiojärjestelmien tai niiden yhdistelmän kautta (Nordic BIM Group, n.d.). Dataa on mahdollista kerätä myös ulkoisista lähteistä, kuten säähavaintoasemilta tai liikenteen mittausasemilta.



Digitaalista kaksosta käytetään pääasiassa tiedon saamiseen erilaisesta toiminnasta simuloitussa maailmassa ennen toteutusta todellisessa maailmassa (Ranta, E. 2021). Hyödyntämällä rakennetusta ympäristöstä kerättyä dataa sekä mahdollisia tekoälyn tai koneoppimisen tehostamia työkaluja voidaan tutkia esimerkiksi muutosrakentamisen vaikutusta kaupunkiympäristön liikennevirtoihin. Digitaalisen kaksosen on myös mahdollista viestiä fyysisen vastineensa kanssa, ja toimia ohjaavana tekijänä esimerkiksi taloteknisten järjestelmien toiminnassa.

Unreal Engine kykenee tulkitsemaan monenlaisista sensoreista tai tietokannoista kerätyn datan niitä tukevan lisäosan kautta. Käytettävä lisäosa valitaan tapauskohtaisesti tiedon muodon sekä tietoa tuottavien järjestelmien ominaisuuksien tai valmistajan perusteella. Unreal Enginen kaikki opinnäytetyössä esitetyt käyttökohteet pätevät myös ohjelmistolla luotaviin digitaalisiin kaksosiin, eroavaisuutena ovat ainoastaan käytettävissä olevan tiedon määrä sekä laatu.

Rakennuskohteesta reaaliaikaisesti kerättävän tiedon avulla on mahdollista täydentää Unreal Enginessä luotua toiminnallisuutta tai aineistoa. Simuloimalla esimerkiksi rakennuksen toimintaa, käyttäjämääriä tai logistiikkaa voidaan luoda kehittyneitä koulutustyökaluja, ja hyödyntämällä avointa säädädataa voidaan mukailla rakennuspaikan sääolosuhteita vaikkapa visualisointitarkoituksessa (Weir-McCall, D. & Lovén, L. 2020). Unreal Enginessä interaktiivisesti ohjatut toiminnot tai parametrit on lopuksi mahdollista ohjata takaisin todellisen rakennuksen järjestelmille, ja säätää tämän kautta esimerkiksi rakennuksen valaistusta. Kuviossa 1 on esitetty Unreal Enginellä ajettavan digitaalisen kaksosen toiminta periaatteella.



KUVIO 1. Unreal Engine -pohjaisen digitaalisen kaksosen toimintaperiaate (Puolanne, 2023).

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Unreal Enginen käyttöaste on todennäköisesti pysynyt rakennusalalla melko pienenä osittain sen pelialalta kantautuvien juurten vuoksi. Pelialan ulkopuolella tietoisuus ohjelmistosta on vähäistä, eikä siihen välttämättä suhtauduta vakavasti. Opinnäytteessä tehty selvitystyö kuitenkin osoittaa, että Unreal Enginen tarjoamat mahdollisuudet tekevät siitä perehtymisen arvoisen työkalun myös rakennusalalla.

Unreal Engine sekä sen kanssa kilpailevat ohjelmistot kehittyvät niin nopeasti, että niitä on vaikea verrata pitkällä aikavälillä. Moni kilpaileva ohjelmisto on ottanut viime vuosina vaikutteita Unreal Enginen ominaisuuksista, mutta myös Unreal Engine on omaksunut lukuisia muista ohjelmistoista löytyvää toiminnallisuutta. On kuitenkin melko varmaa, ettei Unreal Enginelle ominaisia interaktiivisille aloille suunnattuja ominaisuuksia, kuten ohjelmointimahdollisuutta, tule näkymään muissa ohjelmistoissa lähiaikoina.

Osa Unreal Enginellä laadittavasta aineistosta on mahdollista tuottaa myös muilla työkaluilla tai ohjelmistoilla, mutta niistä harva kykenee tekemään yhtä paljon keskitetysti yhdessä paikassa. Osa Unreal Enginen tuottamasta aineistosta ei myöskään ole välttämätöntä tyypillisessä suunnitteluhankkeessa, mutta poikkeuksellisuus sekä esitystekninen näyttävyyys voivat hyvinkin näkyä lisäarvona tai luksustekijänä asiakkaille sekä mahdollisesti myös muille suunnittelijaosapuolille.

Unreal Enginen hyötyaste sekä tehokkuus osana suunnittelutyötä riippuu laajalti käyttäjän panostuksesta sekä tavoitteista. Ohjelmiston käyttöönotto ja räätälöinti vaatii aikaa, mutta pitkällä tähtäimellä sen käyttö nopeutuu, kun vaadittu toiminnallisuus sekä sisältö on rakennettu. Muunneltavuutensa sekä mahdollisten käyttökohteiden runsaan määrän vuoksi voi myös olla vaikea ennalta todeta Unreal Enginen sopivuus johonkin tehtävään. Jotta ohjelmiston suunnittelutyöhön tuoma arvo selviää, on uskallettava kokeilla sen käyttöä mahdollisimman monessa tilanteessa.

Unreal Enginen käyttöä ei ole poissuljettu missään suunnitteluhankkeessa. Kaikki opinnäytetyössä esitetyt käyttökohteet ovat jossakin muodossa hyödynnettävissä aina pientalohankkeesta suureen keskussairaalahankkeeseen asti, mutta näiden tarpeellisuus on punnittava hankekohtaisesti. Hankkeen laatu, asiakkaiden toiveet sekä muut suunnittelijaosapuolet voivat rajata, mutta myös lisätä Unreal Enginen käyttökohteita hankkeen aikana.

Opinnäytetyössä esitettyjen käyttökohteiden ratkaiseminen sekä esimerkkirakennuksen mallintaminen tapahtuivat pääosin yhden käyttäjän avuin. Unreal Enginen käyttöönotto ei siis aseta vaatimuksia työryhmän koolle, mutta ohjelmiston käyttöön ja kehitykseen kuluva aika on luonnollisesti huomioitava hanketta sekä työryhmää suunnitellessa. Työmäärän vähentämiseksi on myös mahdollista hyödyntää Unreal Enginen Marketplace -kauppapaikasta saatavaa sekä laajan käyttäjäyhteisön luomaa sisältöä tai toiminnallisuutta.

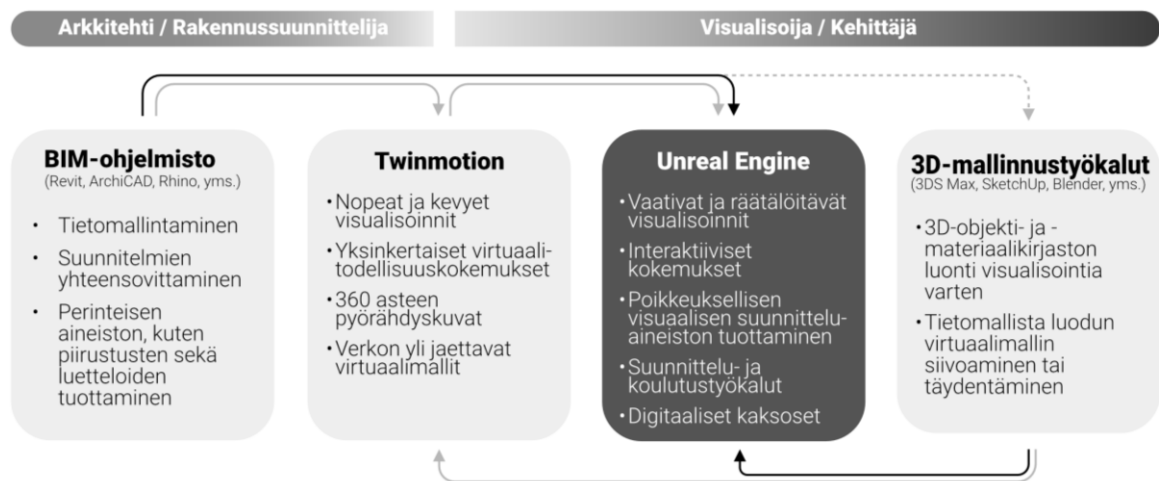
Unreal Enginen käyttö vaatii ymmärrystä nykyaikaisten 3D-ohjelmistojen toimintaperiaatteista ja terminologiasta. Ohjelmiston täysimittaisen hyödyntämisen edellytyksenä on myös kevyt perehtyneisyys sekä olio- että grafiikkaohjelmoinnin periaatteisiin, jotka esiintyvät Unreal Enginen Blueprint -ominaisuuksissa sekä materiaaleditorissa. Uusille käyttäjille on saatavilla runsas määrä sekä Unreal Enginen kehittäjän että käyttäjäyhteisön tuottamaa opetusmateriaalia, mutta ohjelmiston laajuuden vuoksi sen opiskeluun ei ole vain yhtä lähestymistapaa. Myös jotkin Unreal Enginen käyttämät pelialalta juurtuvat ominaisuudet tai terminologia saattavat aiheuttaa hämmennystä uusille käyttäjille, joilla ei ole aiheeseen aiempaa kosketuspintaa.

Käyttöönoton yhteydessä isosta työryhmästä olisi suotava osoittaa yksi tai useampi henkilö, jotka ottavat vastuun Unreal Enginen käyttöön liittyvästä ylläpidosta sekä kehitystyöstä. Ylläpitäjien vastuualueita ovat esimerkiksi

- Unreal Enginen asetusten määrittäminen
- Aloituspohjien luonti erilaisia projekteja varten
- Tiedonsiirtoprosessin määrittäminen ja yhtenäistäminen
- Visual Dataprep -komentoketjujen luonti
- Kirjastojen hallinta ja ylläpito
- Suunnittelutyökalujen luonti

- Räätelöidyn lisätoiminnallisuuden luonti muiden käyttäjien avuksi
- Yhteisten työtapojen määrittäminen
- Muiden käyttäjien kouluttaminen.

Unreal Enginen ekosysteemiin kuuluva Twinmotion helpottaa sen sisällyttämistä osaksi suunnittelutyötä. Yksinkertaistetun Twinmotionin ansiosta kaikkien suunnitteluryhmän jäsenten ei ole välttämätöntä opetella Unreal Enginen käyttöä, vaan heidän on mahdollista käyttää Twinmotionia tilanteissa, joissa on tarve ainoastaan virtuaalimallin esittämiselle tai kevyelle visualisoinnille. Twinmotionissa tehty työ on myöhemmin vietävissä Unreal Enginen puolelle Datasmithin avulla, mikäli kehittyneemmälle jatkotyölle on tarvetta. Kuviossa 2 on esitetty periaatteellinen työpolku sekä työryhmän jäsenten vastualueet suunnitteluhankkeessa, jossa käytetään sekä Unreal Engineä että Twinmotionia.



KUVIO 2. Periaatteellinen suunnittelun työpolku Unreal Engineä hyödyntävässä hankkeessa (Puolanne, 2022).

Unreal Enginen ja sen ekosysteemin käyttöönottolla voi olla yksinkertaistava vaikutus virtuaalimallin ympärillä tapahtuvaan tiedonsiirtoon. Unreal Enginen ja Twinmotionin avulla valtaosa virtuaalimalliin liittyvästä työstä on mahdollista tehdä keskitetysti kahdella ohjelmistolla, jotka ovat lisäksi keskenään yhteensopivia. Ohjelmistot myös noudattavat pitkälti standardisoituja 3D-aineistoon liittyviä työskentelytapoja ja tukevat kattavasti merkittävimpiä tiedostomuotoja. Toisesta ratkaisusta käytettäessä voi olla, että esimerkiksi staattisten visualisointiku-

vien tuottamiseen käytettävä ohjelmisto sekä virtuaaliodellisuustarkastelun mahdollistava ohjelmisto eivät ole keskenään yhteensopivia. Joidenkin ohjelmistojen luomia virtuaalimalleja voi myös olla vaikea täydentää ulkoisella 3D-aineistolla, mikäli ohjelmisto asettaa rajoituksia esimerkiksi mallien tai tekstuurien tiedostoformaatile tai laadulle.

Unreal Engine tulee todennäköisesti yleistymään rakennusallalla sitä ympäröivän ekosysteemin kasvaessa sekä yleisen tietoisuuden lisääntyessä. Kasvun yhteydessä myös asiakkaat tai rakennuttajat saattavat jatkossa osata toivoa sillä tuotettua aineistoa tai kenties esittää uusia käyttötarkoituksia, edistäen sen kehittymistä alalla. Mahdollisuus tuotteistaa moni Unreal Enginen käyttökohteista poikkeuksellisena lisäpalveluna suunnitteluhankkeessa voi tehdä siitä houkuttelevan työkalun alan yrityksille, mutta myös johtaa uusienkin ohjelmiston käyttöön erikoistuneiden toimijoiden kehittymiseen. Sen sijaan, että Unreal Enginestä tulisi lähivuosina arkinen osa jokaisen rakennussuunnittelijan työtä, tulee se todennäköisesti enemmänkin olemaan erottava tekijä suunnittelijoiden keskuudessa alalla, jolla on melko vakiintuneet toimintatavat.

## LÄHTEET

YIT Oyj. 2019. Tietomallien käyttämisestä tehdään YIT:llä toimintatapaa. Verkkosivu. Viitattu 10.1.2023. <https://www.yit.fi/ytimeassa/tietomallit-tehostavat-rakentamista>

BuildingSMART Finland. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 13 tietomallien hyödyntäminen rakentamisessa. Viitattu 6.4.2023. <https://drive.buildingsmart.fi/s/j9QaBC2Re6JSXaC>

Lévy, F. & Ouellette, J. W. 2019. BIM for Design Firms. Data rich architecture at small and medium scales. Hoboken: Wiley.

Kivioja, M. 2021. Tietomallinnus kaupunkitekniikan suunnittelussa: Espoon kaupunkitekniikan suunnitteluyksikön tietomallipohjaisen toiminnan edistäminen. Opinnäytetyö. Viitattu 6.4.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021120824393>

Shannon, T. 2017. Unreal Engine 4 for Design Visualization: Developing Stunning Interactive Visualizations, Animations and Renderings. E-kirja. Boston: Addison-Wesley Professional. Viitattu 6.2.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <https://learning.oreilly.com/library/view/unreal-engine-4/9780134680767/>

Epic Games. n.d. End-User License Agreement. Verkkosivu. Viitattu 16.1.2023. <https://www.unrealengine.com/en-US/eula/unreal>

Mottle, J. 2022. 2021 Architectural Visualization Rendering Engine Survey Results. CGArchitect 11.1.2022. Viitattu 21.3.2023. <https://www.cgarchitect.com/features/articles/712bd906-2021-architectural-visualization-rendering-engine-survey-results>

Pimentel, K. 2021. Twinmotion to Unreal Engine Importer. Bridging Architectural Worlds. Unreal Engine Blog 2.2.2021. Viitattu 8.2.2023. <https://www.unrealengine.com/en-US/blog/twinmotion-to-unreal-engine-importer-bridging-architectural-worlds>

Day, M. 2021. Unreal Engine in architecture, engineering & construction. AEC Magazine 24.3.2021. Viitattu 17.1.2023. <https://aecmag.com/features/an-epic-investment-unreal-engine-in-architecture-aec-twinmotion/>

Smolker, D. 2022. What's new in Autodesk Revit 2023.1. Autodesk Blog 16.11.2022. Viitattu 6.2.2023. <https://blogs.autodesk.com/revit/2022/11/16/whats-new-in-autodesk-revit-2023-1/>

Autodesk Inc. 2023. About Visualizing with Twinmotion. Verkkosivu. Viitattu 19.3.2023. <https://help.autodesk.com/view/RVT/2023/ENU/?guid=GUID-98192ABD-4E6F-4AF5-B909-FF0795B0AA39>

Karis, B. 2021. Nanite: A Deep Dive. Seminaari. SIGGRAPH 16.8.2021. [https://advances.realtimerendering.com/s2021/Karis\\_Nanite\\_SIGGRAPH\\_Advances\\_2021\\_final.pdf](https://advances.realtimerendering.com/s2021/Karis_Nanite_SIGGRAPH_Advances_2021_final.pdf)

Epic Games, n.d. Visual Dataprep Overview. Verkkosivu. Viitattu 19.3.2023. <https://docs.unrealengine.com/4.26/en-US/WorkingWithContent/Importing/Data-prep/>

Epic Games, n.d. Datasmith Supported Software and File Types. Verkkosivu. Viitattu 19.3.2023. <https://docs.unrealengine.com/5.1/en-US/datasmith-supported-software-and-file-types/>

Epic Games, n.d. Collaboration and Version Control in Unreal Engine. Verkkosivu. Viitattu 1.4.2023. <https://docs.unrealengine.com/5.1/en-US/collaboration-and-version-control-in-unreal-engine/>

O'Connor, K. 2017. GPU Performance for Game Artists. Verkkosivu. Viitattu 6.4.2023. <http://fragmentbuffer.com/gpu-performance-for-game-artists/>

Epic Games. 2022. Unreal Engine 5 opens new doors for architectural visualization. Unreal Engine Blog 10.5.2022. Viitattu 21.3.2023. <https://www.unrealengine.com/en-US/blog/unreal-engine-5-opens-new-doors-for-architectural-visualization>

Epic Games. 2022. Stylized Materials for Linear Content Development. Epic Games Dev Community 7.5.2022. Viitattu 18.3.2023. <https://dev.epicgames.com/community/learning/courses/ZAX/stylized-materials-for-linear-content/Gxm9/stylized-materials-for-linear-content-development>

Epic Games. n.d. IES Light Profiles. Verkkosivu. Viitattu 3.4.2023. <https://docs.unrealengine.com/5.0/en-US/using-ies-light-profiles-in-unreal-engine/>

Schmitz, J. 2016. Color Blindness Simulation Research. Verkkosivu. Viitattu 14.3.2023. <http://ixora.io/projects/colorblindness/color-blindness-simulation-research/>

Invalidiliitto. 2019. Esteettömyyskartoitusopas. Invalidiliiton julkaisuja O. 64. Helsinki: Invalidiliitto. Viitattu 6.4.2023. <https://drive.google.com/file/d/1498DMnSPbcBhVXk4LJUbp7qwsu59klTW/view>

Nordic BIM Group. n.d. Digitaaliset kaksoset. Verkkosivu. Viitattu 2.4.2023. <https://www.nordicbim.com/fi/digitaalinen-kaksonen>

Ranta, E. 2021. Kohti Suomen digitaalista kaksosta. Positio 3/2021, 22-23.

Weir-McCall, D. & Lovén, L. 2020. My First Digital Twin: A Real-Time Rendering Story. Verkkoseminaari. Autodesk University 30.10.2020. <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/My-First-Digital-Twin-Real-Time-Rendering-Story-2020>