



# Reaaliaikainen visuaalinen suunnittelu osana rakennus- hanketta

Niko Kautonen

OPINNÄYTETYÖ  
Toukokuu 2020

Rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma

KAUTONEN, NIKO:  
Reaaliaikainen visuaalinen suunnittelu osana rakennushanketta

Opinnäytetyö 77 sivua, joista liitteitä 3 sivua  
Toukokuu 2020

---

Reaaliaikaiselle visuaaliselle suunnittelulle on lukuisia käyttökohteita rakennusalalla ja sen hyödyntämisen uskotaan yleistyvän rakennushankkeissa visuaalisena suunnittelutyökaluna. Käyttökohteet voidaan jakaa käyttäjien osallistamisen, kommunikoinnin ja yhteistyön, koulutuksen, markkinoinnin, työpajojen sekä laadunvarmistuksen kategorioihin, jotka muodostavat yhtenäisen kokonaisuuden. Haastateltavat ja heidän edustamansa yritykset nimesivät yleisimmiksi käyttökokonaisuuksiksi työpajat, käyttäjien osallistamisen sekä kommunikoinnin ja yhteistyön. Teknologian nykyisten ominaisuuksien suurimmiksi mahdollisuuksiksi nousivat kustannustehokkuus selkeämmän vuorovaikuttamisen myötä sekä päätöksenteon nopeutuminen suunnitteluprosessin aikana.

Teknologian hyödyt rakennushankkeissa on havaittu, ja niitä pidetään suunnan näyttäjänä tulevaisuuden hankkeiden suunnitteluprosesseissa, mutta siihen suhtaudutaan vielä varauksella, sillä teknologian käyttöönoton vaikutus liiketoimintaan ja tarkat käyttökohteet ovat osalle yrityksistä vielä tuntemattomia. Kehitys etenee suuntaan, jossa reaaliaikainen visuaalinen suunnittelu toimii keskusteluvälineenä hankkeiden osapuolien välisissä suunnittelukokouksissa ja parantaa käsitystä suunniteltavan hankkeen mahdollisuuksista ja rajoitteista.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli laajentaa ymmärrystä reaaliaikaisen visuaalisen suunnittelun liiketoimintapotentialista rakennushankkeissa. Teoriaosuudessa tarkasteltiin tavanomaisen rakennushankkeen suunnitteluprosessin kulua ja kuinka reaaliaikainen visuaalinen suunnittelu linkittyy siihen erilaisilla teknologian sovelluksilla. Teemahaastatteluiden avulla selvitettiin teknologian erilaisia käyttökohteita rakennushankkeissa, kartoitettiin sen nykytilaa ja tulevaisuutta sekä pohdittiin teknologian käytön haasteita ja hyötyjä.

Digitalisaatio ja sen vaikutukset rakennusalalla näkyvät yhä selvemmin. Palveluntarjoajat kehittävät uusia lähestymistapoja kustannustehokkaaseen rakentamiseen, rakennushankkeiden vaiheistuksen nopeuttamiseen sekä kommunikoinnin selkeyttämiseen. Rakennusalan yritykset vastaavasti etsivät uusille innovaatioille potentiaalisimpia käyttökohteita ja tapoja saada ne osaksi liiketoimintaa. Reaaliaikaisen visuaalisen suunnittelun on havaittu kehittävän rakentamisen suunnitteluprosessia, mutta sen tulevaisuuden potentiaalin selvittämiseksi on tehtävä jatkotutkimuksia.

---

Asiasanat: reaaliaikainen visuaalinen suunnittelu, suunnitteluprosessi, digitalisaatio

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme of Construction Architecture

KAUTONEN, NIKO:  
Real-Time Visual Design in Construction Projects

Bachelor's thesis 77 pages, appendices 3 pages  
May 2020

---

The objective of this research was to broaden the understanding of the business potential of real-time visual design in construction projects. The theoretical section of this thesis observed the course of the planning process of a conventional construction project and how real-time visual design was linked to it by different technology applications. Furthermore, the interviews surveyed different use cases in construction projects, contemplated the benefits and challenges using the technology and examined the current condition of the technology and its future.

There are numerous uses for real-time visual design in the building industry. Utilizing visual design tools in construction projects is gaining in popularity. Uses can be divided into six different categories: user involvement, communication and collaboration, education, marketing, workshops and quality assurance. The interviewees and their representative companies nominated workshops, user involvement and communication and collaboration as the most common uses.

The benefits of technology in construction projects have been characterized as a game changer in future project design processes. Nevertheless, some companies are approaching the technology with caution due to its unclear impact on their business and the obscurity of its precise use.

Digitalization and its effects on the construction industry are becoming increasingly apparent. Service providers are developing new approaches in order to make construction more cost-efficient, to accelerate design processes and to clarify communication. Construction companies search for potential applications for new innovations and how to integrate them into their business. Thus, further study is required to unravel the future potential of the real-time visual design.

---

Key words: real-time visual design, design process, digitalization

## ALKUSANAT

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Suomen Aluerakennuttaja Oy. Opinnäytetyötä tehdessäni kevääni kului hankekehitysarkkitehdin tehtävien suorittamiseen, teoriaosuuden kirjottamiseen sekä haastatteluiden järjestämiseen ja niistä saatujen tietojen analysointiin.

Haluan antaa erityiset kiitokset tämän opinnäytetyön ohjaamisesta lehtori ja arkkitehti Jaakko Aumalalle. Myönteinen ja rakentava palaute oli jatkuvaa opinnäytetyön prosessin ajan ja työtä oli mielekästä tehdä. Suuret kiitokset myös Suomen Aluerakennuttaja Oy:n puolelta työtä ohjanneille henkilöille, Timo Kamppurille ja Mauno Lounakoskelle sekä Suomen Aluerakennuttaja Oy:n partnereille, Tino Nurmelle ja Juri Pelkoselle aktiivisesta, mukavasta ja innoittavasta työilmapiiristä sekä tuesta opinnäytetyön rakenteen luomisen suhteen. Opinnäytetyön tekeminen ja haastattelujen järjestäminen avasi ja laajensi yhteyksiä teknologiaan liittyen kotimaan lisäksi myös ulkomaille, sekä kasvatti tietämystäni teknologian käyttökohteista ja tulevaisuuden mahdollisuuksista rakennusosalalla. Odotan innolla, mitä tulevaisuus tuo tullessaan.

Tampereella, 3.5.2020

Niko Kautonen

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	8
1.1	Tutkimuksen tausta .....	8
1.2	Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset.....	9
1.3	Tutkimuksen rakenne ja rajaukset.....	10
2	RAKENNUSHANKKEEN TAVANOMAINEN KULKU.....	11
2.1	Rakennushankkeen kulku .....	11
2.2	Suunnitteluprosessi osana rakennushanketta.....	12
2.3	Kolmiulotteinen suunnittelu ja tietomallintaminen.....	14
2.3.1	Tietomallintaminen rakennusten suunnittelussa .....	14
2.3.2	BIM:n ja 3D-mallintamisen erot.....	17
2.3.3	BIM:n sovellukset ja edellytykset.....	18
2.4	Visualisointi arkkitehtisuunnittelussa .....	19
2.4.1	Visualisointi käsitteenä .....	19
2.4.2	Käyttö ja merkitys .....	19
2.4.3	360° -visualisointi.....	22
3	REAALIAIKAINEN VISUAALINEN SUUNNITTELU.....	24
3.1	Reaaliaikainen renderointi.....	24
3.2	Historia .....	26
3.3	Laitteisto.....	26
3.4	Sovellukset ja niiden ominaisuudet .....	28
3.4.1	Integrointi ja VR-yhteensopivuus .....	28
3.4.2	Kustannukset.....	30
3.4.3	Visualisointiesimerkit .....	31
3.5	Käyttöönotto .....	33
3.6	Haitat ja esteet .....	35
3.7	Hyödyt ja mahdollisuudet .....	36
3.8	Teoriaosuuden yhteenveto.....	38
4	TUTKIMUKSEN METODIIKKA .....	41
4.1	Tutkimusmenetelmät.....	41
4.2	Perusteet haastateltavien valintaan .....	43
4.3	Haastatteluiden toteutus .....	44
5	TUTKIMUKSEN TULOKSET .....	47
5.1	Käyttökohteet .....	47
5.1.1	Käyttäjien osallistaminen .....	47
5.1.2	Kommunikointi ja yhteistyö .....	50
5.1.3	Koulutus ja perehdyttäminen .....	52

5.1.4	Markkinointi .....	52
5.1.5	Työpajat.....	54
5.1.6	Laadunvarmistus .....	56
5.1.7	Yhteenveto .....	56
5.2	Hyödyntämisen nykytila .....	58
5.2.1	Teknologian käyttö .....	58
5.2.2	Yleiset asenteet ja mielipiteet .....	59
5.2.3	Yleistymisen haasteet.....	60
5.3	Teknologian tulevaisuus.....	61
5.3.1	Visiot ja mahdollisuudet.....	61
5.3.2	Osapuolien roolien muuttuminen .....	62
6	YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT .....	65
6.1	Visuaalinen suunnittelu .....	65
6.1.1	Kokonaisuuden kartoittaminen .....	65
6.1.2	Käyttökohteet ja soveltuvuus.....	66
6.1.3	Tulevaisuuden haasteet .....	67
6.2	Tutkimuksen arviointi .....	69
6.3	Jatkotutkimukset .....	71
	LÄHTEET .....	72
	LIITTEET .....	78
	Liite 1. 360 asteen panoraamakuva .....	78
	Liite 2. Haastattelurunko .....	78
	Liite 3. Haastattelukutsu.....	80

**LYHENTEET JA TERMIT**

2D	engl. Two-dimensional, kaksiulotteinen
3D	engl. Three-dimensional, kolmiulotteinen
AEC	engl. Architecture, Engineering and Construction, arkkitehtuuri, tekninen suunnittelu ja rakentaminen
AI	engl. Artificial Intelligence, tekoäly
AR	engl. Augmented Reality, lisätty todellisuus
BIM	engl. Building Information Model, rakennuksen tietomalli
CAD	engl. Computer-Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu
FPS	engl. Frames Per Second (Frame rate), kuvaa sekunnissa (kuvataajuus)
Hz	engl. hertz, hertsi (virkistystaajuuden yksikkö)
IoT	engl. Internet of Things, Esineiden Internet
IPR	engl. Immaterial Property Rights, immateriaalioikeudet
KIRA	kiinteistö- ja rakentamisala
LOD	engl. Level of Detail, yksityiskohtien taso
LVI	lämmitys-, vesijohto- ja ilmanvaihtotekniikka
RTR	engl. Real-time rendering, reaaliaikainen renderointi
RVD	engl. Real-time Visual Design, reaaliaikainen visuaalinen suunnittelu
VR	engl. Virtual Reality, virtuaalitodellisuus
XR	engl. Extended Reality, laajennettu todellisuus

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Yhä useammat julkiset palvelut, joita käytämme päivittäin arkielämässämme, sähköistyvät. Erilaiset älytuotteet, esineiden Internet (IoT, engl. Internet of Things) sekä robotiikka ovat vain muutamia esimerkkejä digitalisaation aikakauden kehittämistä teknologioista. Suomen Rakennusinsinöörien Liiton hallituksen puheenjohtajan Timo Kohtamäen mukaan digitaalisuus on ajankohtainen aihe rakentamisessakin, vaikka ala on kokonaisuudessaan ajastaan jäljessä.

On lisäksi tiedossa, että alan tuottavuus on kehittynyt muuta teollisuutta hitaammin. Tähän uskotaan olevan syynä kasvaneet laatuvaatimukset ja lisääntynyt vaatimustaso. Rakennusalan luonne on jäänyt pirstaleiseksi – määräävänä tekijänä on yleensä hinta ja jokainen hanke toteutetaan eri organisaatioilla. Tällaisessa miljöössä tiedonkulun ja johtamisen merkitys korostuu. (Kohtamäki, Digitalisaatio tarjoaa työkaluja rakennusalalle.)

Rakennusalalla on yhteinen KIRA-digi -hanke ja muun muassa liikenneministeriö kannattaa vahvasti digitalisoitumista. Edistyksellisimmät työmaat hyödyntävät jo tietomalleja ja esimerkiksi työturvallisuuden parantamiseen on kehitetty erilaisia sovelluksia. Digitaalisuus mahdollistaa tehokkaan informaation keräämisen työsaavutuksista ja aikataulutuksen pullonkauloista ja niitä analysoimalla voidaan parantaa rakennushankkeen informaation kattavuutta. (Kohtamäki, Digitalisaatio tarjoaa työkaluja rakennusalalle.)

Tehokkaasti hyödynnettynä digitalisaation vaikutukset rakennusalalla ovat valoisat ja se tarjoaa työkalun useisiin ongelmiin. Nykyisiä toimintatapoja on vähitellen lähdetty haastamaan ottamalla käyttöön erilaisia digitaalisia sovelluksia ja ryhtytty tekemään kokeiluja, miten rakennushankkeiden prosessit voisivat muuttua ja miltä ne voisivat näyttää aikakaudellamme.



Tämä tutkimus käsittelee reaaliaikaisen visuaalisen suunnittelun (RVD, engl. real-time visual design) hyödyntämistä rakennushankkeen suunnitteluvaiheissa. RVD ei ole virallinen vahvistettu termi, mutta se auttaa murrosvaiheessa olevan teknologian visuaalisten puolien painottamista ja niihin syventymistä. RVD:llä on potentiaali muuttaa koko rakennushankkeen toimintatapoja ja osapuolien rooleja. Rakennusalalla on jo otettu käyttöön ratkaisuja, jotka mahdollistavat karkeiden tietomallien esittelemisen esimerkiksi suunnittelukokouksissa perinteisen dokumentaation tukena, mutta mallin tarkastelu ei ole välttämättä yksiselitteistä, koska malli ei ole tarpeeksi realistinen. Olisi tarvetta korvaavalle ratkaisulle, joka mahdollistaa laadukkaan, visuaalisen virtuaalimallin, jonka tarkasteluun ei tarvita aiempaa perehtyneisyyttä esitystavan ymmärtämiseen.

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Teknologia tarjoaa oikein hyödynnettynä lukuisia mahdollisuuksia, mutta käyttötarkoituksille pitää pystyä määrittelemään arvoa tuottavat tekijät. Yritysten perimmäinen tarkoitus on tuottaa voittoa, jonka takia on oltava selvää, kuinka yritys voi hyötyä parhaiten teknologian käyttämisestä ja miksi sen vuoksi kannattaa muuttaa yrityksen sisäisiä toimintatapoja. Tekijöiden määrittämisen avulla teknologian käyttöönotto on helpompaa ja se voi vähentää ennakkoluulojen määrää teknologiaa kohtaan.

Asenteet ja niistä muodostuneet käsitykset sekä tietoisuus teknologiasta vaihtelevat huomattavasti rakennusalan toimijoiden keskuudessa. Jotkut ovat jo kokeilleet teknologiaa ja implementoineet sen osaksi yrityksen liiketoimintaa, kun taas osalle toimijoista teknologia terminä ja mahdollisuutena on kokonaan uusi. Tämän tutkimuksen tavoitteena on laajentaa ymmärrystä reaaliaikaisen visuaalisen suunnittelun liiketoimintapotentialista rakennushankkeissa.

Tavoitteet voidaan jakaa kolmeen eri tutkimuskysymyksen:

1. Mitkä ovat reaaliaikaisen visuaalisen suunnittelun käyttökohteet?
2. Mitkä ovat teknologian mahdolliset hyödyt/haitat?
3. Millaisena teknologian tulevaisuus nähdään?

Tavoitteena on kehittää tutkimuksen pohjalta mietityille ja haastatteluissa esille nousseille käyttökohteille yhdistäviä määritelmiä, jotta laajoja kokonaisuuksia on helpompi käsitellä. Tutkimuksen kannalta on tärkeää, että käyttökohteiden väliltä löytyy monimuotoisuutta, jotta tutkimuksessa voidaan kattaa esille tulleita näkökulmia mahdollisimman laajasti.

### **1.3 Tutkimuksen rakenne ja rajaukset**

Tutkimuksen teoriaosuus muodostuu rakennushankkeen tavanomaisen kulun läpikäymisestä sekä reaaliaikaisen visuaalisen suunnittelun sektoreista. Rakennushankkeen tavanomaisella kululla on tarkoitus muodostaa käsitys siitä, kuinka reaaliaikainen visuaalinen suunnittelu on yhteydessä rakennushankkeen suunnitteluprosessiin. Reaaliaikaisen visuaalisen suunnittelun kappale jakaantuu reaaliaikaisen renderöinnin, historian, laitteiston, sovelluksien ja niiden ominaisuuksien, käyttöönoton, haittojen ja esteiden, hyötyjen ja mahdollisuuksien sekä yhteenvedon kappaleisiin. Historian ja laitteistojen kappaleet pidetään pintapuolisina, sillä niiden syvämpi tutkiminen ei ole tutkimuksen kannalta olennaista.

Käyttöönotto, haitat ja esteet sekä hyödyt ja mahdollisuudet ovat reaaliaikaisen visuaalisen suunnittelun kappaleita, joita käydään tarkimmin läpi, sillä ne ovat tutkimuskysymysten kannalta olennaisinta tietoa. Tutkimuksen metodiikka -kappaleessa tutkimusmenetelmät, tutkimusstrategia ja aineistonkeruumenetelmät käydään periaatteellisella tasolla läpi perusteluineen.

Empiirisessä osuudessa haastattelujen tulokset jaetaan käyttökohteiden, hyödyntämisen nykytilan ja teknologian tulevaisuuden kappaleisiin. Käyttökohteiden kappaleessa muodostetaan kokonaisuudet helpottamaan käytön hahmottamista. Nykytilassa käydään läpi teknologian tämänhetkistä käyttöä, mielipiteitä ja yleistymisen haasteita. Lopuksi esitellään visioita teknologian käytöstä ja kuinka ne voivat muuttaa osapuolten rooleja rakennushankkeessa. Yhteenvedossa sulautetaan tutkimuksen teoriaosuus sekä tulokset yhteen ja punnitaan esille nousseita asioita. Lopuksi arvioidaan tutkimuksen luotettavuutta ja harkitaan potentiaalisia jatkotutkimuksia.

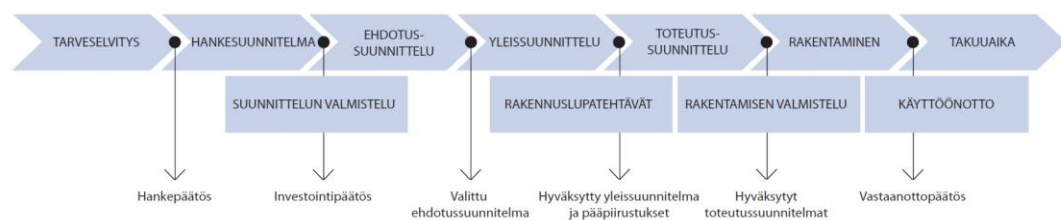
## 2 RAKENNUSHANKKEEN TAVANOMAINEN KULKU

### 2.1 Rakennushankkeen kulku

Professori Jouko Kankaisen ja projektipäällikkö Juha-Matti Junnosen (2017, 10) mukaan yksittäisen rakennushankkeen tavoitteena on täyttää tilan käyttäjän muuttuneet tilantarpeet tai tuottaa yrityksen tai yhteiskunnan toiminnan tarvitsema verkosto. Tilantarve voi saada alkunsa useista eri syistä ja tilaa voi tarvita julkisyhteisö, yritys tai yksityinen henkilö. Syinä voi olla esimerkiksi mahdolliset asetetut yhteiskunnalliset velvoitteet, muutokset liiketoiminnan suhteen tai esimerkiksi yksityisillä henkilöillä perheeseen tai varallisuuden muutos tai asuinpaikkakunnan vaihtuminen.

Tilantarpeen täyttämisen keinoja on monia. Tämän tutkimuksen tarkoituksena ei ole kuitenkaan esittää vaihtoehtoisia tilanhankintaratkaisuja ja niiden prosesseja yksityiskohtaisemmin, vaan muodostaa teoreettinen viitekehys ja analysoida olemassa olevia ratkaisumenetelmiä sekä luoda ja esitellä niiden pohjalta oma visio rakennushankkeen vaiheistuksesta, joka toimii parhaiten reaaliaikaisen visuaalisen suunnittelun hyötyjen esille tuomiseen.

Rakennushanke käynnistyy, kun tehdään päätös rakentaa uusi tila tai korjata jo olemassa olevaa. Hanke ositetaan eri vaiheisiin, jolloin hankkeen hallinta ja ohjaus helpottuu ja päätökset saadaan kohdistettua kaikissa vaiheissa niille keskeisiin asioihin. Rakennustiedon ohjekortin RT 10-11224 (Talonrakennushankkeen kulku) mukaan talonrakennushankkeen vaiheprosessi on 8-vaiheinen (Kuva 1).



**KUVA 1.** Talonrakennushankkeen vaiheet (RT 10-11224)

Yllä mainittujen päävaiheiden lisäksi hankkeesta ja sen urakkamallista riippuen hankeprosessissa voi olla erillisinä alakategorioina tai tehtäväkokonaisuuksina suunnittelun valmistelu, rakennusluvan hankinta ja rakentamisen valmistelu, jotka nivELYvät osaltaan hankkeen päävaiheisiin (Junnonen & Kankainen 2017, 11).

On kuitenkin varteenotettavaa mainita, että jokainen rakennushanke on yksilöllinen, joten hankkeen kulku ja siihen liittyvien suunnitteluvaiheiden sisäinen järjestys ja niiden priorisointi voi poiketa tietyin osin verrattaessa muihin hankkeisiin. On myös mahdollista, että rakennushankkeissa tietyt hankkeen osa-alueet sulautuvat yhdeksi hankkeen osa-alueeksi (Kaivonen 1994, 65).

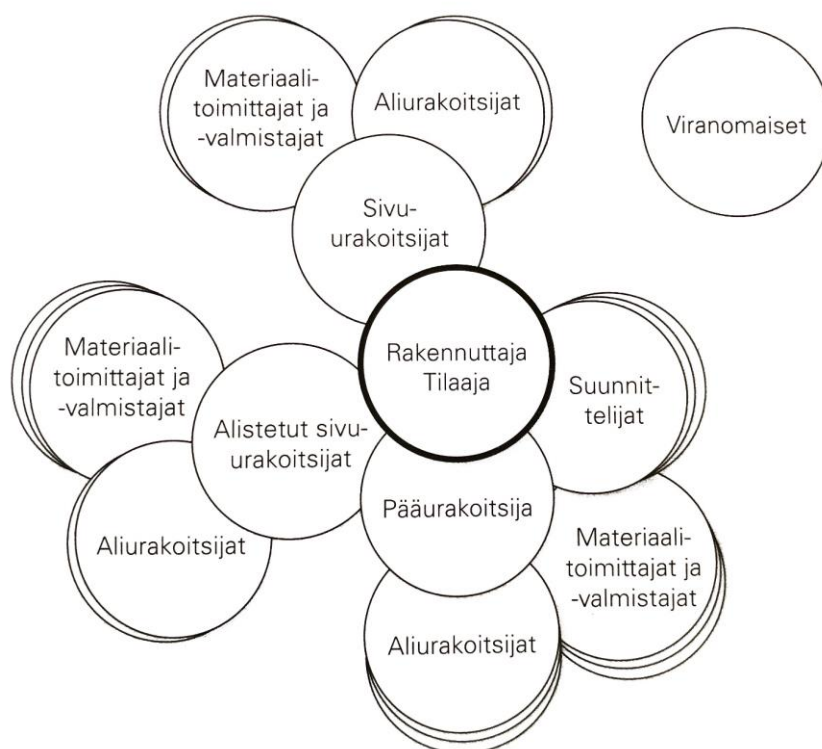
## **2.2 Suunnitteluprosessi osana rakennushanketta**

Rakennushankkeen suunnitteluprosessi käynnistyy tarveselvitysvaiheesta, jossa laaditaan käyttäjien toimintastrategia sekä omistajien kiinteistöstrategia. Näiden pohjalta muodostetaan tarveselvityksen alustava tilaohjelma tilanhankinnalle, joka toimii alustavana kuvauksena tarvittavista tiloista ja niille asetetuista vaatimuksista, erilaisista tilallisista vaihtoehdoista sekä taloudellisista tavoitteista. (Junnonen & Kankainen 2017, 18.)

Hankesuunnitteluvaiheessa hyödynnetään tarveselvitysvaiheessa tehtyä tilaohjelmaa. Tämän lisäksi vaiheen lähtötietoja ovat muun muassa tilojen ominaisuudet ja hankkeen toteutusaikataulu, jotka tarkentuvat varsinaisen rakennussuunnittelun suunnitteluohjeeksi. Vaiheen aikana hankkeelle asetetaan täsmälliset laatutavoitteet, joissa määritetään hankkeen toteutuspaikka sekä rakennuspaikka. Hankesuunnitteluvaiheen tavoitteena on luoda toimiva hankesuunnitelma, jonka perusteella tehdään kohteen investointipäätös. (Junnonen & Kankainen 2017, 24.)

Rakennushankkeeseen osallistuu useita osapuolia (Kuva 2). Sama osapuoli voi toimia useissa tehtävissä, kuten esimerkiksi rakennushankkeeseen ryhtyvä voi olla kohteen suunnittelutehtävissä, mikäli hänen ammattiosaamisensa ja -taitonsa siihen riittävät. Osapuolien roolit voivat muuttua tai siirtyä toiselle hankkeen

aikana, mikäli edellytykset (laajuus, laatu ja kesto) vaikuttavat asetettuihin vaatimuksiin merkittävästi. Kun hankkeen vaativuus ja laajuus kasvavat myös osapuolten määrä kasvaa ja tehtävät eriytyvät. (Junnonen & Kankainen 2017, 13.)



**KUVA 2.** Rakentamisen eri osapuolet. (Rakennuttaminen, 2017)

Vaikka rakennushankkeiden tavanomainen kulku on pysynyt suhteellisen samankaltaisena jo useiden vuosikymmenien ajan, on silti nähtävissä eroja parin vuosikymmenen takaisin rakennushankkeisiin. Jo silloin lukuisat tutkijat havaitsivat tietotekniikan hyödyntämisen potentiaalin rakennushankkeissa (Hungu 2013). Tietotekniikan globaali kehittyminen on tuonut tullessaan ison määrän uusia työkentelytapoja varsinkin rakennushankkeiden suunnitteluvaiheisiin, mutta myös muihin hankkeen vaiheisiin, kuten esimerkiksi rakentamisen aikaiseen valvontaan, ylläpitoon ja koko projektin aikaiseen dokumenttihakintaan (Vysotskiy, Markarov, Zolotova & Tuchkevich 2015, 1147). Se on johtanut dokumentaation digitalisointiin ja siten muuttanut rakentamisen paradigmaa (Plume & Mitchell 2007; Kubba 2012; Hungu 2013, 7.)

Hankkeen suunnitteluprosessin aikana suunnitteluvaiheisiin (tarveselvitys, hankesuunnittelu, ehdotussuunnittelu, yleissuunnittelu ja toteutussuunnittelu) sisältyy paljon informaatiota, joka liikkuu rakennushankkeen osapuolten välillä. Tieto

on sekä graafista että ei-graafista tietoa. Graafista tietoa ovat muun muassa 2D-suunnitteluaineisto, kuten esimerkiksi asemapiirustus, leikkauskuvat, julkisivukuvat ja kerrospohjakuvat. Samaan kategoriaan lukeutuu myös 3D-aineisto, joita ovat esimerkiksi kohteen alustavat havainnekuvat tai visualisoinnit. Ei-graafiseen tietoon luetaan muut projektissa käytettävät dokumentit (Meadati 2009; Bullinger, Bauer, Wenzel & Blach 2010; Hungu 2013, 10.)

## **2.3 Kolmiulotteinen suunnittelu ja tietomallintaminen**

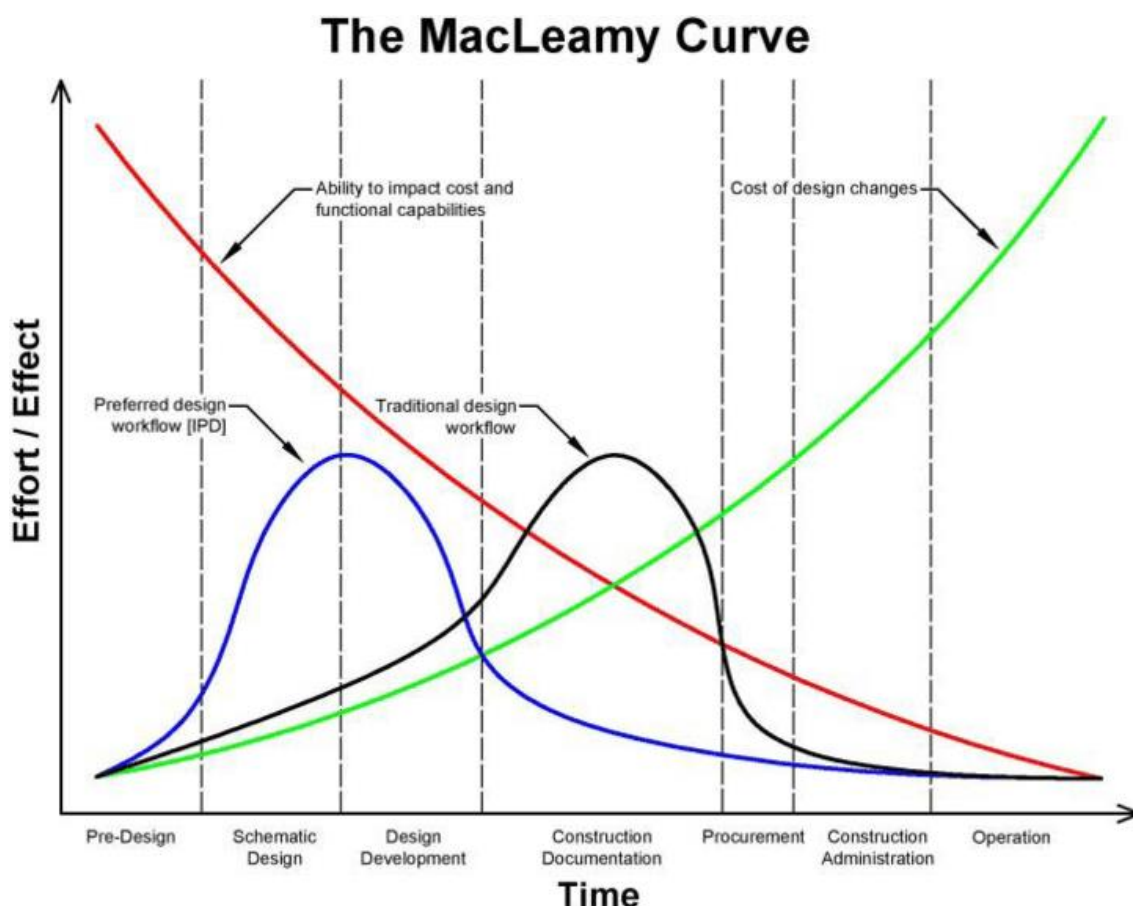
### **2.3.1 Tietomallintaminen rakennusten suunnittelussa**

Rakennusten tietomallintaminen (BIM, engl. Building Information Modeling) on saavuttanut kasvavaa suosiota arkkitehtuurin, teknisen suunnittelun ja rakennusalan teollisuudessa (AEC, engl. Architecture, Engineering and Construction industry) jo jonkin aikaa, mutta sen ensimmäiset käyttöönotot virallisena terminä ovat lähes kolmen vuosikymmenen takaa vuodelta 1992 (van Nederveen & Tolman 1992; Pryke 2017).

BIM:n avulla rakentamisen tiedonhallinta on järjestelmällisempää, ja se tehostaa virheiden havaitsemista. Se toimii tukena tarkasti aikataulutetuissa hankkeissa, rakentamisen vaiheistuksessa ja törmäystarkasteluissa. Se myös auttaa puoltamaan rakennussuunnittelun ratkaisuja sekä fasilitoi helppoja ratkaisuja monimutkaisiin hankkeisiin. (Azhar, Carlton, Olsen & Ahmad 2011; Kubba 2012; Hungu 2013, 4.)

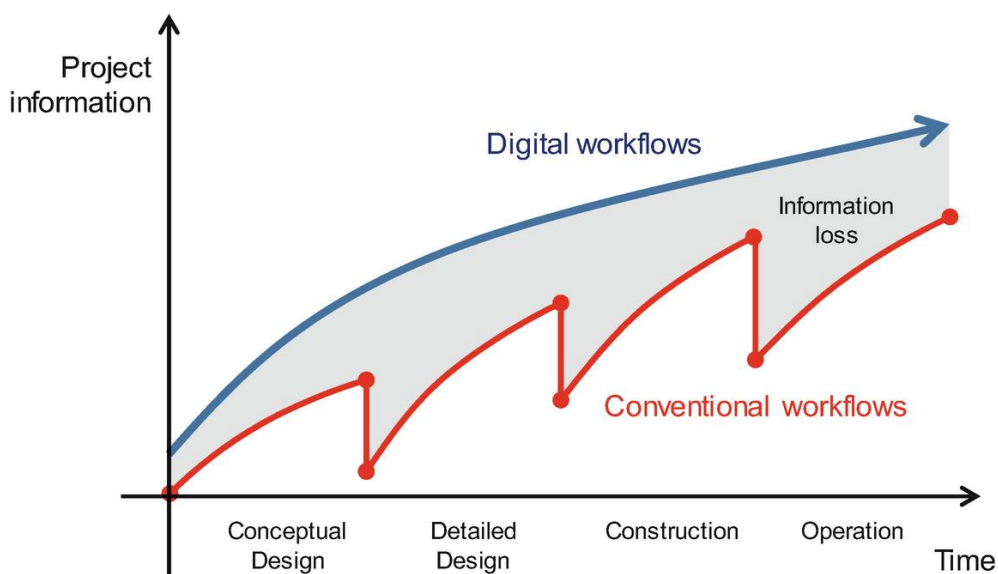
BIM on jalostettu tietokoneavusteisen suunnittelun (CAD, engl. Computer Aided Design) kehityksestä luomaan integroitua hallintaa monialaiselle tiedolle, jota tuotetaan prosessissa projektin tai rakennuksen elinkaaren aikana. Professori Becerik-Gerberin et al (2010) mukaan huolimatta siitä, että BIM:n edut havaittiin melko nopeasti, sen implementaatiot ympäri maailmaa kattamaan koko projektin elinkaaren eivät ole vielä nähneet lopullista potentiaalia. (Hungu 2013, 4.) BIM on tuonut perusteellista paradigman muutosta AEC-projektitiimien toimintaan: Se on vaikuttanut kommunikaatioon, ongelmanratkaisuun, tehokkaan suunnittelun to-

teuttamiseen, tuotantoon sekä kustannustehokkuuteen (Kuva 3A). Tietomallinta-  
minen on tehostanut suunnittelua, kun aikaa on voitu käyttää enemmän itse  
suunnitteluun ja vastaavasti vähemmän dokumentointiin. Voidaan havaita, että  
työpanoksen määrä siirtyy aikaisempiin suunnitteluvaiheisiin perinteisestä suun-  
nittelusta. Tällöin aikaa jää enemmän suunnitelmien ja päätöksien tekoon, kun  
vastaavasti dokumentointiin varattavan ajan suuruus vähenee. (MacLeamy 2004;  
Evers 2017, 2.)



**KUVA 3A.** Patrick MacLeamyn käyrä. (Walasek & Barszcz 2017)

Nykypäivän erittäin kilpailukykyisillä rakennusmarkkinoilla ei ole enää riittävää  
eikä järkevää toteuttaa rakennusprojektia hajanaisilla, toisiinsa yhteensopimatto-  
milla tavoilla. Perinteisen rakennusprojektin menetelmin voidaan kaaviosta ha-  
vaita selkeää informaatiohäviötä siirryttäessä rakennushankkeen eri vaiheisiin,  
joka tarkoittaa jo suunnitellun asian tekemistä useaan kertaan. Tämä tarkoittaa  
myös lisäkustannuksia (Kuva 3B).



**KUVA 3B.** Informaatiohäviön vaikutus rakennushankkeessa. (Borrmann, König, Koch & Beetz 2018)

BIM on tarjonnut mahdollisuuden yhteistyösuunnitteluun, jossa rakennushankkeen muita osapuolia voidaan osallistaa luontevasti. Tämän lisäksi se on tarjonnut tehokkaan yhteensopivan objektitietokannan, joka kattaa koko projektin elinkaaren (Kuva 4). (Plume & Mitchell 2007; Kubba 2012; Hungu 2013, 8.) Tietomallin käyttö rakentamisessa on tasoittanut perinteistä hierarkkista hallintarakennetta ja vähentänyt AEC-teollisuuden pirstoutunutta luonnetta yhteistyöprosessien myötä (Mihindu & Arayici 2008; Hungu 2013, 8.)



**KUVA 4.** Perinteisen hankkeen tiedonvaihtoa vs. BIM-tiedonvaihto. (European BIM Summit 2020)



### 2.3.2 BIM:n ja 3D-mallintamisen erot

BIM ei ole yhtä kuin 3D-mallintaminen. Geometrinen 3D-mallintaminen tarkentuu enemmänkin rakennuksen muodon, materiaalien ja värien esittämisen ja kuvaustavaksi. Sitä voidaan käyttää muun muassa kohteiden havainnollistamisessa sekä visualisoinneissa. Tämä auttaa mielikuvien luomisessa sekä suunnittelun ja rakentamisen yhdistämisessä. 3D-malli on vain visuaalinen esittämistapa rakennuksesta. (Freese, Penttilä & Rajala 2007; Paakki 2010, 18.) BIM kuvaa rakennusta kokonaisvaltaisemmin kuin geometrinen 3D-malli, joka kuvaa ainoastaan rakennuksen ulkonäköä ja sen muotoja (Kuva 5).



**KUVA 5.** BIM:n sisältämä informaatio visuaalisesti. (Kuva: BIM4ALL)

Käsitteenä BIM tulee ymmärtää 3D-mallintamista laajemmin rakennuksen osien tietojen mallintamisena sekä rakennuksen prototyyppinä. BIM voi sisältää rakennuksen geometrisen muodon, mutta siihen on oleellista liittää tietoa esimerkiksi rakennuksen rakenneosiin niiden luokitteluista, ominaisuuksista, kustannuksista ja iästä. BIM on informaatorikas digitaalinen kuvaus rakennuksesta, joka luetteloii rakentamisen ja suunnittelun fysikaaliset sekä toiminnalliset ominaispiirteet. Optimaalisessa rakennuksen tietomallissa rakenteet, leikkaukset ja esimerkiksi lujuslaskelmat päivittyvät mallin muutosten mukana. BIM:n avulla voidaan simuloida rakennustöiden käytäntöjä. (Penttilä, Nissinen & Niemioja 2006; Freese ym. 2007; Paakki 2010, 18.)

### 2.3.3 BIM:n sovellukset ja edellytykset

Nykypäivänä maailmanlaajuisilla markkinoilla on tarjolla useita erilaisia BIM-alustoja, jotka voidaan jakaa käyttökohteiden mukaan useisiin eri kategorioihin (Taulukko 1). Suurin osa näistä nykyään saatavilla olevista alustoista on suunnattu palveluntarjoajille, kuten esimerkiksi arkkitehdeille, insinööreille, urakoitsijoille ja valmistajille – niitä ei ole erityisesti tai juurikaan tarkoitettu kiinteistön omistajille (Eastman, Teicholz, Sacks & Liston 2011; Hungu 2013, 6.) Saatavilla alustoilla on erilaisia työkalutoimintoja, joita markkinoidaan erilaisille tai useille käyttäjille.

Käyttökohte rakennushankkeessa	Sovellus
Mallintaminen ja suunnittelu	ArchiCAD, Revit
Visualisointi	Enscape, Unreal Engine
Laajennettu todellisuus (XR)	IrisVR, InsiteVR
Törmäystarkastelu	Navisworks, Solibri Model Checker
Kustannuslaskenta	Sigma, BIM 360 Cost Management
Tietojenhallinta	BIM 360 Docs, Trimble Connect
Rakentamisen valvonta	Congrid, BIM 360 Build
Rakentamisen hallinta	Assemble
Tuotannosuunnittelu	Tocoman
Ylläpito, käyttöönotto	BIM 360 OPS

**TAULUKKO 1.** BIM-sovelluksia rakennushankkeessa.

Suurin edellytys BIM-pohjaisen toimintatavan ja suunnittelun käyttöönoton leviämiseksi on, että tilaajat sekä rakennuttajat edellyttävät ja haluavat hyödyntää BIM-pohjaista toimintatapaa. Ohjelmistojen tulee tukea tietomallimuotoista tiedonhallintaa ja suunnittelijoiden täytyy osata tuottaa informaatiota tietomallimuodossa. BIM-pohjaisen suunnittelun edellytyksenä on, että itse tietomallintamisen ja siihen liittyvien tietojen hallinnan detaljeista sovitaan ennen hankkeen aloittamista. (Romo 2003; Penttilä ym. 2006; Paakki 2010, 18.) BIM:n etujen säilyttämiseksi on tärkeää, että käytettävien sovellusten tulee olla saumattomasti yhteensopivia.

## 2.4 Visualisointi arkkitehtisuunnittelussa

### 2.4.1 Visualisointi käsitteenä

Arkkitehtuurivisualisointi tarkoittaa arkkitehtonisesta kohteesta tai sen osasta tuotettua visuaalista koostetta tai esitystä. Käytännössä visualisointi on rakennukseen liittyvien suunnitelmien näkyväksi tekemistä, esittämistä ja tiedon havainnollistamista kuvallisesti. (Tiitto 2015, 9.) Yksityiskohtaisemmin ilmaistuna visualisointi liittyy visuaalisen suunnittelun ja interaktiivisen median innovatiiviseen käyttöön viestinnän välineenä (Kosara, verkkoartikkeli 2008).

Visualisointi nähdään helppona, nopeana ja kustannustehokkaana tapana suunnittelijoille tuoda omia ideoitaan esiin. Sen avulla voidaan nähdä, mikä ero on luonnoksien teoreettisten periaatteiden ja näiden periaatteiden käytännön soveltamisen välillä (SaaS-alustan verkkoartikkeli 2020). Arkkitehtuurivisualisointi nähdään suuntana markkinointiin, kiinteistöjen myyntiin ja rakentamiseen, jonka avulla voidaan esitellä kohteita erilaisille kohderyhmille (VRender-verkkoartikkeli 2015.)

### 2.4.2 Käyttö ja merkitys

Visualisointi on laajalti käytössä AEC-teollisuudessa, sillä kuten missä tahansa luovassa prosessissa, tekijä haluaa kuvata omia ideoitaan parhaalla, houkuttelevimmalla ja mahdollisimman ammattimaisella tavalla. Scott Orwinin verkkoartikkelin (2017) mukaan vahvat mielikuvat toimivat parhaiten ideoiden ja konseptien myymiseksi hankkeiden päätöksentekijöille. Arkkitehtuurin suhteen hankkeesta tehdyt visualisoinnit antavat vaikuttavan ja todenmukaisemman vaikutelman kuin pelkkä sanamuotoinen teksti (Kuva 6). Visualisointi on ajan saatossa ja teknologian kehittyessä edistynyt huomattavin askelin - aina käsin piirretyistä luonnoksista nykyisiin fotorealistisiin 3D-renderointeihin. (Orwin 2017.)



**KUVA 6.** *Syksyinen visualisointikuva rakennushankkeesta. (Kuva: SARA-Rakennuttaja, Niko Kautonen 2019)*

Visualisoinnin päätarkoituksena on havainnollistaa rakennus graafisesti niin, että tavallinen ihminen voi tutustua siihen. Usein visualisoitavana kohteena on rakennus, jota ei ole vielä rakennettu. Siitä ei silloin ole olemassa kuvallista referenssimateriaalia, miltä rakennus tulee näyttämään valmiina. Visualisointikuvia tehdään myös olemassa olevista rakennuksista, varsinkin korjausrakentamisen saralla, mutta myös esimerkiksi rakennuksen laajentamisen visualisoimiseksi. (Määttä 2010; Tiitto 2015, 11.)

Visualisointimateriaalia tarvitaan rakennusta koskevan informaation esittämiseen sekä nopeasti että ymmärrettävästi. Lähtökohtana voidaan pitää informaation visualisoimista. Arkkitehdin, rakennusarkkitehdin tai muun suunnittelijan toteuttamat rakennussuunnitelmat koostuvat yleensä erilaisista teknisistä piirustuksista, laskelmista sekä kuvauksista, joissa tieto esitetään tiivistetysti ammattialan termeillä tai esitystekniikalla. Tällainen esitystapa voi olla rakennustekniikkaa tuntelemattomalle henkilölle vaikealukuista, sillä ymmärtääkseen suurimman osan esitetystä informaatiosta vaaditaan perehtyneisyyttä aiheeseen ja varsinkin esitystapaan. Visualisoimalla hankkeesta voidaan tuottaa nopeasti ymmärrettävä ja omaksuttava kuvallinen esitys. (Kivelä 2013, 35; Tiitto 2015, 12.)

Visualisointimateriaalia käytetään erityisesti suunnittelun apuna sekä markkinoinnissa. Visualisointikuvia voidaan tehdä markkinointi- ja esitysmateriaaliksi esimerkiksi tulevan projektin rahoittajille, rakennusprojektin yhteistyökumppaneille ja kuluttajille (Kuva 7). Niiden avulla tutustuminen hankkeisiin ennakkoon helpottuu – voidaan esimerkiksi arvioida uuden rakennushankkeen sopivuutta tulevaan ympäristöön (Kuva 6), tilojen toimivuutta ja tarkastella lisärakentamisen vaikutusta jo rakennetussa ympäristössä. Suunnitteluvaiheessa visualisointi toimii sekä työmaapiirustuksien että materiaalisuunnittelun tukena. (Määttä 2010, Tiitto 2015, 12.)



**KUVA 7.** Esimerkki sisätilavisualisoinnista, jonka tarkoituksena oli tarkastella tilan toiminnallisuutta. (Kuva: SARA-Rakennuttaja Oy, Niko Kautonen 2020)

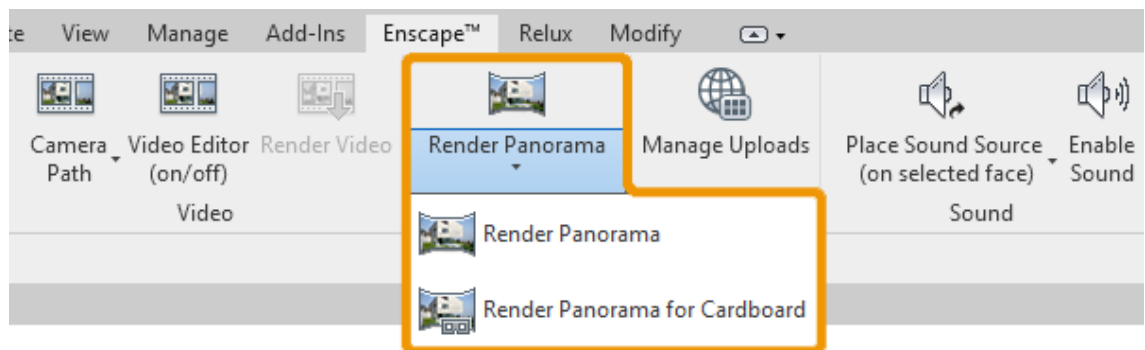
Suunnitteluprosessin lisäksi visualisoinnilla on muitakin käyttökohteita. Sen hyödyntäminen voi kattaa koko hankkeen elinkaaren alkuperäisten konseptien esittelystä tuotantovaiheen loppuun ja voi ulottua myös kunnossapitovaiheeseen (Bouchlaghem, Shang, Whyte & Ganah 2005).



### 2.4.3 360° -visualisointi

360° -visualisoinnilla tarkoitetaan visualisoinnin muotoa, jossa rakennushankkeesta tehty visualisointikuva on nimensä mukaisesti 360 asteen visualisointikuva. Se on hallittavissa oleva panoraamakuva, joka ympäröi alkuperäistä pistettä, josta kuva on ikään kuin otettu. 360 asteen visualisointikuvat simuloivat havainnointia ihmisen näkökulmasta. Kuvan katsoja voi klikata mitä tahansa kuvan kohtaa ja vetää sitä haluttuun suuntaan. Kuva ei rajaa tiettyä kuvakulmaa (kuva 7), vaan katsojalla on käytössään rajaton katselukulma yhdestä pisteestä. (Rouse 2016, Whats-verkkoartikkeli.) Tämä lisää visualisointimateriaalin immersivisuutta. (Virtualizing Architecture -verkkoartikkeli, 2019.)

360 asteen visualisointikuva luodaan yhdistämällä siihen yhteensopiva visualisointiohjelmisto sekä esimerkiksi rakennushankkeesta tehty tietomalli. Joissakin visualisointiohjelmistoissa, kuten esimerkiksi Enscapessa, on sisäänrakennettu Render Panorama -toiminto, joka mahdollistaa 360-visualisointikuvan luomisen automaattisesti ja generoi siitä verkkolinkin (Kuva 8).



**KUVA 8.** Enscapen Render Panorama -toiminto Revit-mallinnusohjelmassa. (Kuva: Enscape)

Tämän linkin voi esimerkiksi lähettää asiakkaille katsottavaksi ja kuvaa voi katsella niin tietokoneella kuin mobiililaitteellakin (Kuva 9). (Enscape -verkkoartikkeli.) Visualisointia voidaan hyödyntää myös reaaliajassa.



**KUVA 9.** 360 asteen panoraamakuva avattuna tasokuvaksi. Linkki liikuteltavaan kuvaan liiteaineistossa (Liite 1). (Kuva: SARA-Rakennuttaja Oy, Niko Kautonen 2020)

### 3 REAALIAIKAINEN VISUAALINEN SUUNNITTELU

#### 3.1 Reaaliaikainen renderointi

Reaaliaikainen visuaalinen suunnittelu, tässä kontekstissa reaaliaikainen renderointi (RTR, engl. real-time rendering), koskee kuvien nopeaa interaktiivista generointia tietokoneelle. Reaaliaikaista renderointia on esiintynyt useissa muodoissa, esimerkiksi videopeleissä tai animaatioissa. Yksinkertaistettuna: kuva ilmestyy ruudulle, katsoja toimii tai reagoi, mikä toimii palautteena ja vaikuttaa siihen, mitä seuraavaksi luodaan. Tämä reaktiosykli ja renderointi tapahtuu riittävän nopealla vauhdilla, jotta katsoja ei ehdi erottamaan yksittäisiä kuvia, vaan pikemminkin uppoutuu dynaamiseen prosessiin. Interaktiivisuutta ja linkittymistä kolmiulotteiseen tilaan pidetään reaaliaikaisen renderoinnin määritelmänä. (Akenine-Möller, Haines & Hoffman 2018, 1.)

Kuvien välistä näyttönopeutta mitataan käsitteellä kuvaa sekunnissa (FPS, frames per second) tai virkistystaajuutena, hertseinä (Hz). Esimerkkinä yksi kuva sekunnissa (1 FPS) tarkoittaa, että yksi kuva generoituu sekunnissa ja renderointi kuvien välillä tapahtuu hitaasti, ikään kuin pätkien sekunnin osina. Grafiikkatutkija Tomas Akenine-Möllerin mukaan videopelit tavoittelevat yleensä 30, 60, 72 tai korkeampia FPS-lukuja, jolloin käyttäjän fokus on enemmänkin toimimisessa ja reaktioissa eikä vaihtuvien kuvien havainnoimisessa. Pää tavoitteena on saavuttaa mahdollisimman realistinen lopputulos mahdollisimman pienellä renderoinnin vähimmäisnopeudella. Kuvavirran nopeus on oltava suurempi kuin silmän kyky erottaa yksittäisiä kuvia, jotta voidaan luoda illuusio liikkeestä (Spotworks -verkkoartikkeli 2019).

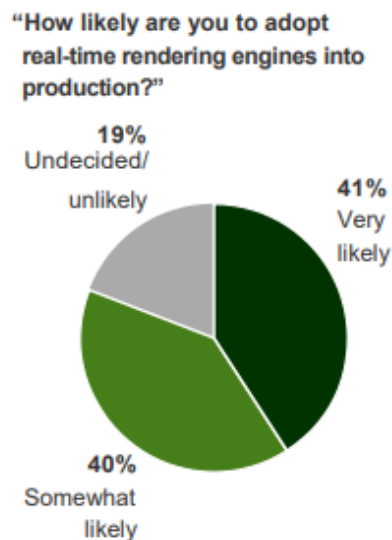
RTR on muutakin kuin pelkästään interaktiivisuutta eli tietokoneen kykyä vastata käyttäjän komentoihin. Jos nopeus olisi ainoa kriteeri, mikä tahansa sovellus, joka reagoi nopeasti käyttäjän komentoihin ja piirtää mitä tahansa näytölle, kelpasi. Renderointi reaaliajassa tarkoittaa yleensä kolmiulotteisen kuvan tuottamista. (Akenine-Möller ym. 2018, 1.) RTR hyödyntää samoja tekniikoita, jotka ovat olleet olemassa jo vuosien ajan visualisoinnissa. Perinteinen renderointi on



vain korvattu renderointimoottorilla, jolla on potentiaali luoda kuvaa lennossa, reaaliajassa. Perinteinen renderointitapa vaatii yleensä useita tunteja aikaa ja on ajallisesti pitkäkestoinen prosessi. Reaaliajassa renderointi tapahtuu viiveettömästi, joten aikaa säästyy muihin työvaiheisiin. (Spotworks -verkkoartikkeli 2019.)

Yhdysvaltalaisen markkinatutkimusyriitys Forresterin raportin (2018) mukaan teknologian muutosvauhti on jatkamassa kiihtymistään. Viimeisen kymmenen vuoden aikana on havaittavissa merkittäviä innovaatiota interaktiivisissa grafiikkaohjelmissa, erityisesti peliteollisuudessa. Jatkuvat vaatimukset kustannusten leikkaamiseksi ja tuottavuuden lisäämiseksi ovat nopeuttaneet edistysaskeleiden ottamista. Edistysaskeleet ovat varmistaneet nopeammat suunnitteluprosessit ja alustavien luonnosten iteraatiot organisaatioissa, joissa tekniikkaa hyödynnetään.

Verkkoblogisivusto ArchDailyn artikkelin (Trends in Real-Time Rendering, 2018) sekä Forresterin raportin (2018) mukaan arkkitehdit ja arkkitehtitoimistot ovat yhä enemmän taipuvaisia siirtymään reaaliaikaiseen renderointiin. Raportin perusteella 81% vastaajista on kiinnostuneita ottamaan käyttöön teknologian tarjoamia ratkaisuja keinona tarkistaa ja muokata malleja asiakkaiden kanssa (Kuva 10).



**KUVA 10.** Reaaliaikaisen renderoinnin käyttöönoton analysointia gallupin perusteella. (Kuva: Forrester Consulting 2018)

## 3.2 Historia

Tietokonegrafiikan alkuvuosina 1970-luvulla, suurimpina ratkaistavina ongelmina pidettiin näkyvyysalgoritmeja sekä geometrisiä esitystapoja. Laitteistojen laskentateho ja muisti eivät riittäneet mahdollistamaan renderoinnin luomaa grafiikan fyysikaalista kompleksisuutta. Kun teknologia kehittyi ja laitteistoista tuli suorituskykyisempiä ja halvempia, oli mahdollista tarkastella laskennallisesti vaativampia lähestymistapoja renderointiin, mikä puolestaan teki fyysisesti perustuvista lähestymistavoista kannattavia. Tietojenkäsittelyopin tutkija Jim Blinnin mukaan: ”Tekniikan kehittyessä renderointiaika pysyy vakiona.” (Pharr, Jakob & Humphreys 2019.)

Reaaliaikaisen visuaalisen suunnittelun lähtökohtana ja sen kehityksen tärkeimpänä tekijänä voidaan pitää peliteollisuuden kehittymistä. Pelimoottorit ovat testanneet teknologian rajoja ja iteroineet erilaisia vaihtoehtoja jo vuosikymmenien ajan. Iteraatioiden ja erilaisten kokeilujen jälkeen saatu tekniikka on lähentynyt arkkitehtuurivisualisoinnin lisäksi vastaamaan myös elokuva-alan sekä televisioiden tarpeita. (Spotworks -verkkoartikkeli 2019.)

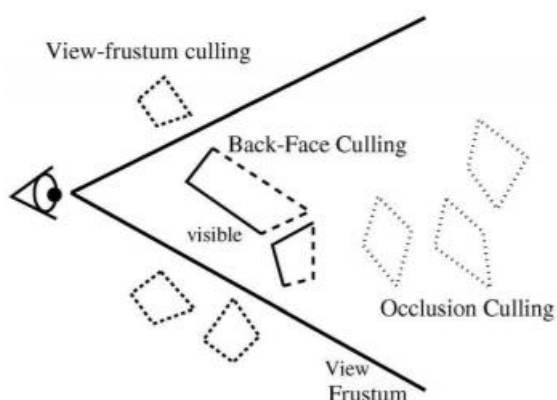
## 3.3 Laitteisto

Interaktiivisuus sekä yhteys kolmiulotteiseen tilaan ovat yleensä riittävät ehdot reaaliaikaiselle renderoinnille, mutta grafiikkalaitteistokiihdytyksestä on tullut osa sen määritelmää. (Akenine-Möller ym. 2018, 1.) Tällä tarkoitetaan tietyssä prosessissa tapahtuvaa toiminnon suorittamista siihen soveltuvammalla erikoiskomponentilla, koska se on nopeampi kuin tavallinen komponentti (Mittal 2018, 1.) Tämä on varsin yleistä teknologian käytössä nykypäivänä.

Peliteollisuuden kehittyminen on vienyt RTR:n tasolle, jossa todellisuutta ja renderoitua ympäristöä on ajoittain vaikea erottaa toisistaan. Tämä on johtanut siihen, että tietokoneilta vaaditaan entistäkin tehokkaampia erikoiskomponentteja, varsinkin näytönohjaimia ja suorittimia, kestävään teknologian aiheuttamaa rasitusta (Easy Render -verkkoartikkeli 2019.) Esimerkiksi Enscape-yritys, joka tar-

joaa reaaliaikaista renderointia hyödyntävää alustaa, kertoo käyttävänsä säteenjäljitystä (engl. ray tracing) renderoinnissaan. Melkein kaikki Enscapen suorittamat laskelmat käsitellään näytönohjaimella, joten yritys on asettanut tietyt laatuvaatimukset tietokoneiden komponenteille, jotta teknologian käytön sujuva käyttö olisi mahdollisimman luontevaa. (Enscape -verkkajulkaisu 2020.)

Vaikka prosessoreiden ja näytönohjainten suorituskyky on kasvanut valtavasti viimeisten vuosien aikana, 3D-datan määrällä on aina jokin yläraja, jota voidaan hallita vuorovaikutteisesti missä tahansa järjestelmässä. On kuitenkin olemassa muutamia tekniikoita, joiden avulla yläraja voidaan ylittää. Grafiikkatutkija Akenine-Möllerin mukaan tekniikat voidaan jakaa kolmeen luokkaan; valmistusprosessien optimointi, yksityiskohtien taso (LOD, engl. Level of detail) sekä taustalla olevan geometrian piilotus (engl. visibility culling, Kuva 11). (Johansson, Roupé & Bosch-Sijtsema 2015, 5.)







**KUVA 11.** Kuvaus erilaisista geometrian piilotustekniikoista. (Cohen-Or, Chrysanthou, Silva & Durand 2003)

### 3.4 Sovellukset ja niiden ominaisuudet

#### 3.4.1 Integrointi ja VR-yhteensopivuus

Reaaliaikaisen renderoinnin palveluntarjoajia on globaalissa mittakaavassa useita. Sovellukset voidaan jakaa useisiin alakategorioihin, joista kolmea sovelluksien ominaisuutta tutkitaan alla olevien taulukkojen avulla. Ensimmäisenä tarkastellaan sovelluksen yhteensopivuutta käytettävään suunnitteluohjelmaan, joka helpottaa käyttäjien (esimerkiksi arkkitehtien, suunnittelijoiden tai visualisoi- jien) työnkulkua. Sovelluksen tulee olla integroitavissa suunnitteluohjelmaan, jol- loin välttyään erilaisten tiedostomuotojen viemiseltä kolmannen osapuolen tar- joamaan sovellukseen.

Sovellus	Integrointi	VR-yhteensopivuus
	<b>Kyllä</b> (ArchiCAD, Revit, SketchUp, Rhino)	<b>Kyllä</b> (ArchiCAD, Revit, SketchUp, Rhino)
	<b>Kyllä</b> (Revit, SketchUp ja Rhino – Unity Reflec- tin avulla)	<b>Kyllä</b> (Revit, SketchUp ja Rhino – Unity Reflectin avulla)
	<b>Kyllä</b> (ArchiCAD, Revit)	<b>Kyllä</b> (ArchiCAD, Revit, SketchUp, Rhino esim. SimLab Composerin avulla)
	<b>Kyllä</b> (ArchiCAD, Revit, SketchUp, Rhino)	<b>Kyllä</b> (vaatii kolmannen osapuo- len sovelluksen)

**TAULUKKO 2.** Integrointi- ja VR-yhteensopivuustarkastelu.





Taulukosta voidaan havaita Enscapella sekä Lumionilla olevan tällä hetkellä laajin suunnitteluohjelmistojen kirjo, joihin sovellus voidaan asentaa suunnitteluohjelman liitännäisenä. Vuosien 2019 ja 2020 aikana markkinoille on kuitenkin tullut ja tulee uusia tuotteita ja sovelluksia, jotka voivat mahdollisesti muokata nykyistä tilannetta.

Osa RTR:ää hyödyntävistä sovelluksista mahdollistaa myös virtuaalitodellisuuden (VR, engl. Virtual Reality) hyödyntämisen (Taulukko 2). VR on tietokoneella luotu ympäristö, joka muistuttaa sitä kokevalle henkilölle läheisesti todellisuutta (Collins Dictionary 2014; Portman, Natapov & Fisher-Gewirtzman, 2015). Käyttäjä pääsee havainnoimaan virtuaalimaailmaa, simuloitua ympäristöä, joka on voitu luoda esimerkiksi visualisoitavan 3D-mallin pohjalta.

Taulukon perusteella voidaan havaita, että kaikilla tarkasteltavilla sovelluksilla on mahdollisuus hyödyntää virtuaalitodellisuutta suunnittelun työkaluna. On kuitenkin huomattava, että joillakin sovelluksilla sen käyttöönotto on hieman työläämpää ja vaatii kolmannen osapuolen sovelluksen toimiakseen. Tämä voi olla joillekin käyttäjille turha ylimääräinen työvaihe, joka voi vaikuttaa käyttöönotettavan sovelluksen valintaan. Sovellusten tarjoamien virtuaalitodellisuuden toimintojen välillä voi olla käyttö- ja laatueroja, mutta niitä ei oteta tässä tarkastelussa huomioon.

### 3.4.2 Kustannukset

Sovellukset tarjoavat toisistaan hieman erilaisia ratkaisuja ulkonäön ja niiden tarjoamien ominaisuuksien osalta. Myös sovellusten hinnoittelussa on taulukon mukaan havaittavissa eroja (Taulukko 3).

Sovellus	Hinta
 <b>ENSCAPE™</b>	<b>640 € (kelluva lisenssi) /vuosi</b> <b>430 € (yhdele työasemalle) /vuosi</b>
	<b>135 € (Unity Pro) /kuukausi</b>
	<b>Ilmainen</b>
	<b>1 499 € (Lumion, kertamaksu)</b> <b>2 999 € (Lumion PRO, kertamaksu)</b>

**TAULUKKO 3.** Sovellusten välisten kustannusten tarkastelu. (Hinnat palveluntarjoajan verkkosivuilta.)

Suurin ja mielenkiintoisin hinnoitteluratkaisu sovelluksista on Unreal Enginellä, joka tarjoaa tällä hetkellä sovellustaan ilmaiseksi. Toinen huomattava ero on Lumionin hinnoittelutavassa, jossa käyttöönoton summaksi muodostuu selkeästi suurempi kuin yllä olevista sovelluksista, mutta kyseessä on kertamaksu. Muita kuluja ei siis sovelluksesta aiheudu käyttöönoton jälkeen. Unityn voidaan havaita olevan pitkällä aikavälillä kallein sovellus.

### 3.4.3 Visualisointiesimerkit

Kustannukset huomioon ottaen voisi päätellä, että niillä on myös vaikutus sovelluksen käyttöön sekä sen tuottaman materiaalin laatuun. Teknologia on AEC-teollisuuden saralla suhteellisen uutta, joten jo itse reaaliaikaisen renderoinnin tuoma vaikutus voi olla asiakkaalle uusi, vaikuttava kokemus. Alan parissa työskentelevät ihmiset ovat perehtyneet ohjelmiin ja niiden käyttämiin esitystapoihin tarkemmin, joten sovellusten välillä olevat pienet nyanssierot ovat helpommin havaittavissa. RTR-teknologian esittäminen havainnollisesti kuvina on mahdotonta, sillä reaaliaikaisen renderoinnin havainnointi tapahtuu jatkuvana muuttavana liikkeenä. Laadukas staattinen visualisointi sisältää visuaalisia eroja (Kuvat 12A, B, C ja D).



**KUVA 12A.** Esimerkkivisualisointi Enscape-sovelluksella. (Kuva: Enscape, tekijä Elnata Fernandes, Utopia 3D)

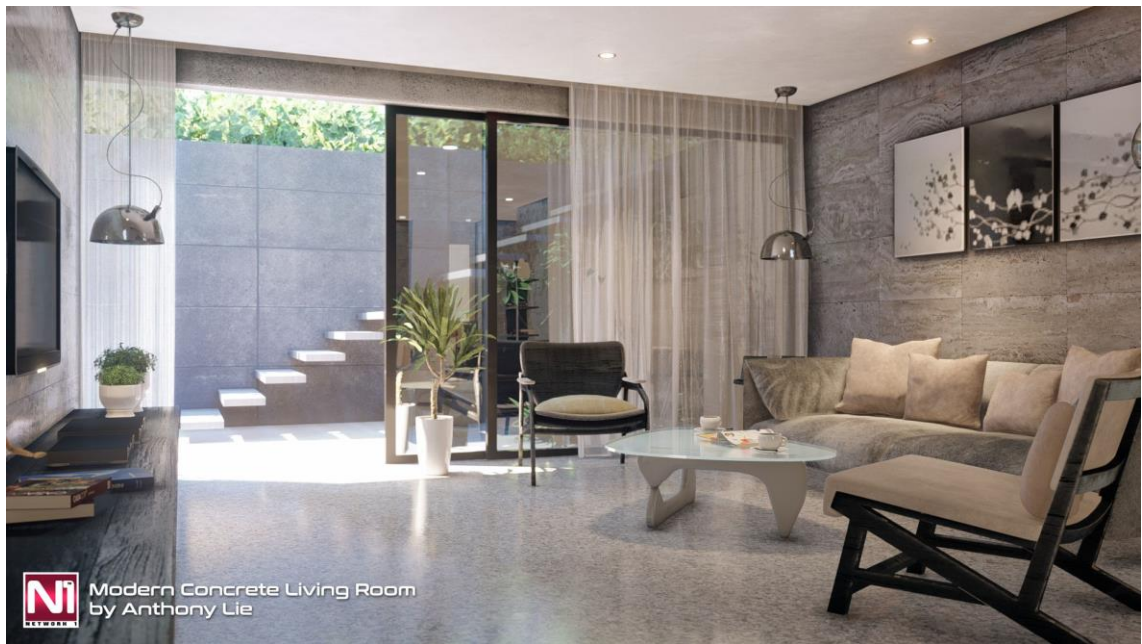


**KUVA 12B.** Esimerkkivisualisointi Unity-sovelluksella. (Kuva: nimimerkki JeyDia, Unity forum-verkkójulkaisu)



**KUVA 12C.** Esimerkkivisualisointi Unreal Engine-alustalla. (Kuva: Roy Fredy)





**KUVA 12D.** Esimerkkivisualisointi Lumion-sovelluksella. (Kuva: Anthony Lie)

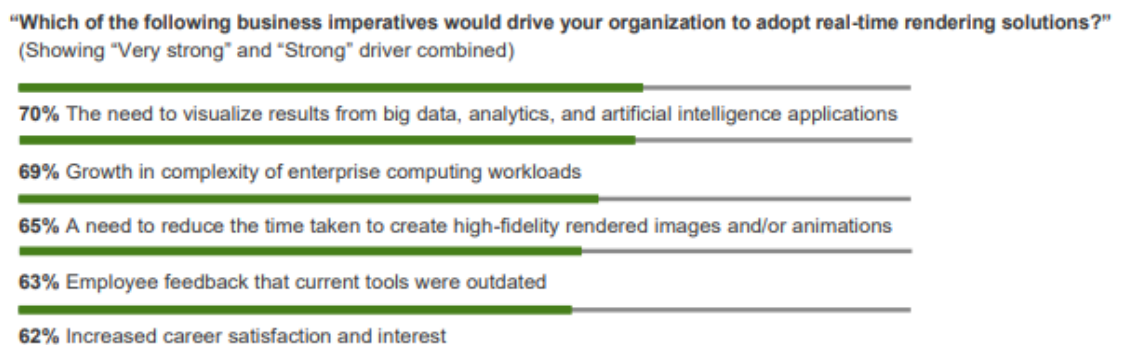
### 3.5 Käyttöönotto

Rakennusten tietomallien käyttöönoton myötä reaaliaikaisen visualisoinnin käyttö suunnittelun viestintävälineenä on yleistynyt ja helpommin saatavilla (Johansson ym. 2015, 2). Reaaliaikainen renderointi antaa käyttäjälleen mahdollisuuden liikkua ja olla vuorovaikutuksessa visualisoidussa ympäristössä, johon voidaan lisätä esimerkiksi virtuaalitodellisuuden (VR) sekä lisätyn todellisuuden (AR) ominaisuuksia. Lisäksi se vähentää työmäärää, koska kolmiulotteinen data pystytään siirtämään suoraan suunnitteluun käytetystä mallista, eikä erilliselle visualisointitarkoituksiin käytettävän 3D-mallin tekemiselle ole tarvetta. (Johansson ym. 2015, 2.)

Nykypäivän suunnittelijat ja visualisointiasiantuntijat ovat siirtymässä perinteisestä renderointitavasta (nk. offline rendering) reaaliaikaisten renderointiratkaisujen puolelle. Forresterin tekemän gallupin mukaan vastaajat heijastavat tätä näkemystä. Reaaliaikaisen renderoinnin käyttöönoton avaintekijöiksi koettiin toimialakohtaisia tekijöitä (Kuva 13).

Pääosin visualisointi, hankaluuksien voittaminen sekä ajankäytön väheneminen nähtiin isoimpina tekijöinä. Gallupin perusteella 70% vastaajista tunnisti tarpeen visualisoida massadatan (engl. Big Data), analytiikan ja tekoälyn sovellusten tuloksia. Laskentatyömäärän kasvu ja sen monimutkaisuus merkitsevät myös sitä, että laskentatehoa tarvitaan enemmän töiden suorittamiseen. 69% vastaajista piti sitä tärkeänä ohjaavana tekijänä (Kuva 13). (Forrester -raportti 2018.)

Yhtenä ohjaavana tekijänä RTR:n käyttöönotolle pidetään kilpailukykyisiä markkinoita. Raportin mukaan 65% vastaajista ilmoitti haluavansa käyttää reaaliaikaista renderointia säästääkseen aikaa korkealaatuisten kuvien tuottamiseksi hankesuunnitteluvaiheessa (Kuva 13).



**KUVA 13.** *Liiketoiminnan erilaisten vaatimusten vaikutus reaaliaikaisen renderointiratkaisujen käyttöönotolle. (Kuva: Forrester Consulting 2018, rajattu)*

Suunnitelman esikatselu on asiakkaalle yksi ominaisuus, mutta nimenomaan muutosten tekemisen helppous mallissa luo kokemuksesta vuorovaikutteisen ja sillä voi olla suuri positiivinen vaikutus asiakkaisiin sekä sidosryhmiin ja sitä kautta päätöksentekoon. 82% vastaajista puolsivat tätä väitettä. (Forrester -raportti 2018.) 71% vastaajista olivat lisäksi sitä mieltä, että asiakkaat ja sidosryhmät olettavat jo näkevänsä realistisia visualisointikuvia, eikä välttämättä pelkäävät staattiset visualisointikuvat enää riittä vaikuttamaan heitä. Työskenteleminen suunniteltavien kohteiden kanssa reaaliajassa ja immersiiivisten visualisointien välitön kokeminen näyttäisi olevan raportin mukaan avain tällaisen liiketoiminnan menestykseen. (Forrester -raportti 2018)

### 3.6 Haitat ja esteet

Yhtenä isona esteenä sovelluksen käyttöönotolle pidetään siitä aiheutuvia kustannuksia. Verkkoblogisivusto ArchDaily:n artikkelin (Trends in Real-Time Rendering, 2018) sekä Forresterin tekemän raportin (2018) kyselyn tilastot osoittivat, että 42% vastaajista kokivat ohjelmistokustannukset esteenä reaaliaikaisen renderoinnin käyttöönotolle. Tulos oli artikkelin mukaan yllättävä, sillä esimerkiksi Unreal Enginen RTR-sovellusta tarjotaan ilmaiseksi osana Unreal Studiota. Sovellusten lisäksi myös muut kulut herättivät epärointiä: 27% vastaajista mainitsi teknologian implementoinnin ja laitteisto- ja henkilöstökuluihin liittyvän huolen olevan esteenä reaaliaikaisen renderoinnin käyttöönotolle.

Toisena asiana koettiin taitojen ja asiantuntemuksen puute. Organisaatiot, jotka haluavat käyttää uusimpia RTR:n tarjoamia työkaluja, joutuvat kouluttamaan tai palkkaamaan tekniikkaa osaavia työntekijöitä, jotta heistä aiheutuneet kulut voitaisiin muuntaa tuloiksi parempien liiketoiminnallisten tulosten saavuttamiseksi. Tätä mieltä oli 30% vastaajista. Erikoista kyllä, mutta myös 27% vastaajista itseasiassa havaitsi RTR:n tarjoamien työkalujen käyttäjien kokemattomuuden, joka kuvaa samalla myös taitojen ja asiantuntemuksen puutetta, joista yritykset kärsivät. Menestyviä organisaatioita alalla ohjaavat pääsääntöisesti oikeat ihmiset, oikea organisaatorakenne sekä laaja valikoima oikeita koulutusresursseja organisaatioiden tukemiseksi teknologian käyttöönotolle tai sen laajentamiselle. (Forrester -raportti 2018.)

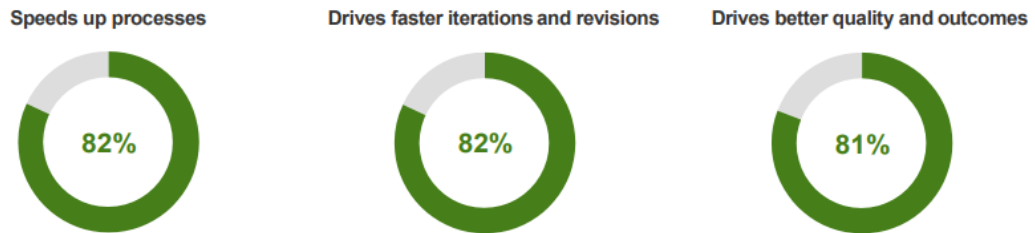
Usein rakennusten tietomalleista tulee kooltaan suuria ja niin kompleksisia, että ne ylittävät tietokoneen laskentatehon kapasiteetin. Se voi aiheuttaa ongelmia mallien reaaliaikaisessa havainnollistamisessa. (Svidt & Christiansson 2008; Paavola, Kerosuo, Mäki, Korpela & Miettinen 2012; Lehtinen 2012; Johansson ym. 2015, 2.) Sama ilmiö voi päteä osittaisissa malleissakin, mikäli esille nousee tietoteknisiä ongelmia, kuten yleisesti käytössä olevat BIM-visualisoinnin ohjelmistotyökalut, jotka eivät joko onnistu lataamaan 3D-informaatiota tai eivät pysty tuottamaan sitä reaaliajassa. (Steel, Drogemuller & Toth 2012; Johansson ym. 2015, 2.)

Professorien Ursula Plesnerin ja Maja Horstin mukaan uusimpienkin laitteistojen suorituskyvyn kapasiteetti voi tulla nopeasti vastaan, mikä pakottaa arkkitehdit ja muut suunnittelijat keventämään mallia (esim. poistamaan tai piilottamaan ylimääräistä geometristä informaatiota), jotta työskentely mallin parissa on sujuvaa. Suurten tietomallien kompleksisuudesta ja laitteistojen aiheuttamista rajoitteista johtuen yleinen toimintatapa tällaisissa skenaarioissa on jakaa päämalli pienempiin osamalleihin. (Plume & Mitchell 2007; Davies & Harty 2013, Johansson ym. 2015, 2.) Tällainen lähestymistapa voi johtaa tyypillisesti lisämallinnustyöhön informaation jakovaiheessa, jolloin pienimmätkin revisiot voidaan joutua mallintamaan osamallien lisäksi uudelleen päämalliin. (Dubler, Messner & Anumba 2010, 6.) Tästä syystä osittaiset rakennusten tietomallit yleensä linkitetäänkin yhteen isoon päämalliin, jolloin uusia revisioita ei tarvitse tehdä enää päämallissa (Davis 2011).

### **3.7 Hyödyt ja mahdollisuudet**

Forresterin raportin sekä verkkoblogisivusto ArchDailyn verkkoartikkelin (How Real-Time Rendering Can Revolutionize Design – Again 2018) mukaan teknologian suurimpina hyötyinä nähdään sen kyky säästää aikaa ja mahdollistaa muutosten tekeminen mallissa välittömästi esimerkiksi asiakkaan kanssa, jolloin suunnitteluprosessiin käytettävää aikaa säästyy huomattavasti. Nopeammat iteraatiot, suurempi suunnittelun joustavuus ja parempi visualisointi voivat tehdä vaikutuksen asiakkaisiin, nopeuttaa markkinointimateriaalien syntymistä ja markkinoille pääsyä sekä lisätä työntekijöiden luovuutta ja motivaatiota parempien tulosten saavuttamiseksi (Kuva 14). 76% vastaajista kertovat, että perinteinen renderointimenetelmä on esteenä luovempien ratkaisujen tutkimiselle (Kuva 15).

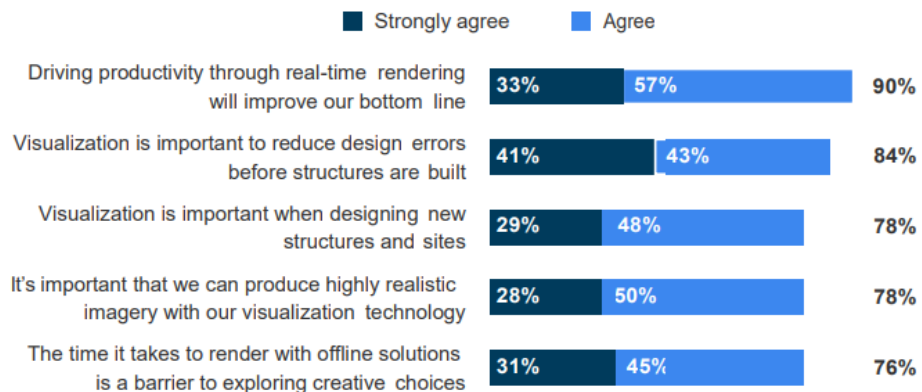
“How much do you agree with the following statements?” (Real-time rendering technology . . .)



**KUVA 14.** *Reaaliaikaisen renderoinnin mahdollisuuksien analysointia. (Kuva: Forrester Consulting 2018)*

Gallupiin vastanneet ovat lähes yhtä mieltä siitä, että reaaliaikainen renderointi ei pelkästään lisää tuottavuutta, vaan myös parantaa visualisoinnin elementtejä, mikä taas vähentää suunnitteluvirheitä ennen rakenteiden rakentamista (84% vastaajista). Perinteisellä renderointimenetelmällä samojen tulosten saavuttamiseksi voi mennä tunteja tai jopa päiviä, kun joudutaan tekemään useita iteraatiota mahdollisten muutosten huomioon ottamiseksi (Forrester -raportti 2018).

“How much do you agree or disagree with the following statements?” (Showing “Strongly agree” and “Agree” only)

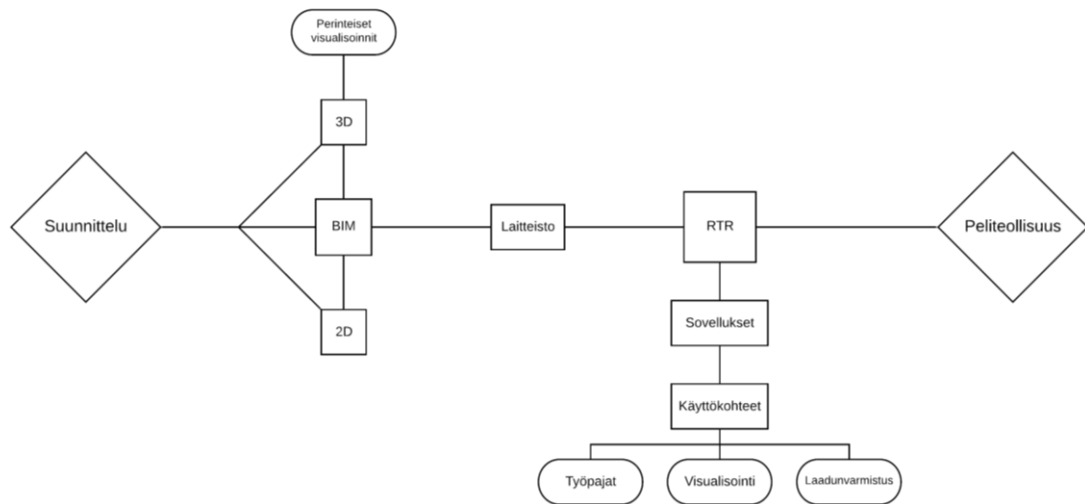


**KUVA 15.** *Reaaliaikaisen renderoinnin käytön tutkimista väittämien avulla. (Kuva: Forrester Consulting 2018)*

Samaisen raportin mukaan teknologian hyödyt nähdään valtavina. Siirtyminen reaaliaikaisiin renderointimoottoreihin mahdollistaa mallin kokemisen sen näkemisen sijaan. Prosessit nopeutuvat ja visualisoitava kohde voi olla koettavana kokonaan huomattavasti aiemmin kuin oikea kohde valmistuu. Gallupissa myös kysyttiin, kuinka paljon aikaa vastaajat ovat säästäneet käyttämällä RTR-teknologiaa. 83% vastaajista kertoi, että aikaisempiin prosesseihin verrattuna aikaa on säästynyt vähintään neljännes.

### 3.8 Teoriaosuuden yhteenveto

Tutkimuksen teoreettinen viitekehys pohjautuu reaaliaikaisen visuaalisen suunnittelun laajaan kokonaisuuteen sekä sen käyttöönottoon rakennushankkeessa (Kuva 16). Rakennushankkeen tavanomaisen kulun, hankkeen suunnitteluprosessin sekä tietomallintamisen tarkoituksena oli havainnollistaa lukijalle, mihin suuntaan rakentamisessa ollaan menossa. Erityistä huomiota kiinnitettiin rakennusten tietomallintamiseen ja visualisointiin, jotta saatiin vahva perusta reaaliaikaisen renderoinnin käsitteelle ja sen käyttöönotolle rakennushankkeissa. Alla olevan kuvan tarkoitus on helpottaa ymmärtämään RTR:n yhteyttä rakennushankkeeseen. Kyseessä ei ole valmis, todennettu visuaalisen rakentamisen ajattelun malli, vaan yksinkertaistettu versio helpottamaan teknologian potentiaalista paikkaa hankkeen aikana.



**KUVA 16.** Teoreettisen viitekehysten muodostuminen.

Tieteellisessä tutkimuksessa on tärkeää määritellä siihen kuuluvat käsitteet, jotta lukija tietää mistä puhutaan ja minimoidaan väärinkäsitysten syntyminen. Reaaliaikaisella visuaalisella suunnittelulla on erilaisia määritelmiä ja tutkimuksen aikana tuotiin esille, mitä on reaaliaikainen visuaalinen suunnittelu tässä tutkimuksessa ja missä hankkeen eri vaiheissa sitä voidaan parhaiten käyttää.

Reaaliaikaisessa renderoinnissa koostettiin teknologian määritelmä ja käsiteltiin sen teknistä toimintaperiaatetta. Teknologian toimintaperiaatteen ymmärtäminen avartaa kuvaa sen mahdollisuuksista ja hyödyistä rakennushankkeissa. Lisäksi se helpottaa ymmärtämään teknologian hyödyntämiseen vaadittavan laitteiston tärkeyttä, sillä tehokas laitteisto on välttämätön osa teknologian sujuvalle toiminnalle.

Reaaliaikaisen renderoinnin historia -kappaleen tarkoituksena oli havainnollistaa lukijalle teknologian alkuperää ja kuinka globaali teknologian kehitys on saavuttanut immersiiivisiä ja realistisia tuloksia peliteollisuudessa. Kappale kertoo lyhyesti, mistä syystä AEC-teollisuus on havainnut reaaliaikaisen renderoinnin potentiaalin ja ottanut sen käyttöön osaksi rakennushankkeita.

Tutkimuksessa tarkastelluissa sovelluksissa tutkittiin ja vertailtiin niiden välisiä eroja tutkimukseen otettujen ominaisuusehtojen perusteella. Ominaisuusehdot valittiin yleisesti sovellusten käyttäjien näkökulmasta – mitä käyttäjät haluaisivat sovelluksen sisältävän. Tarkoituksena oli tuoda esille sekä analysoida yleisesti markkinoilla olevia sovelluksia ja kartoittaa, minkälaiset syyt tai mahdollisuudet voivat vaikuttaa tietyn sovelluksen käyttöönottoon. Näiden sovellusten välisten erojen ja samankaltaisuuksien analysoinnin perusteella pohjustettiin seuraavaa teknologian implementoinnin kappaletta.

Implementoinnin tarkastelussa selvisi, että nykypäivän suunnittelijat, arkkitehdit ja visualisointiasiantuntijat ovat siirtymässä perinteisestä visualisointitavasta yhä enemmän reaaliaikaisen visuaalisen suunnittelun pariin. Isoimmiksi tekijöiksi tälle nimettiin muun muassa ajansäästö sekä visualisoinnin laatu, jota pystytään hyödyntämään suuressa potentiaalissa jo luonnossuunnitteluvaiheessa. Teknologian hyödyntämisen havaittiin myös vaikuttavan positiivisesti sidosryhmiin ja pää-

töksentekoon. RTR:n käyttö suunnitteluprosessissa nähtiin myös uutena mahdollisuutena mallien näkemisen sijasta mallin kokemisena, kun tavalliset visualisointikuvat eivät riitä enää vaikuttamaan asiakkaita ja sidosryhmiä.

Teknologiaa ei ole kuitenkaan otettu yksimielisesti avosylin vastaan AEC-teollisuuteen. Joidenkin mielestä sen käyttöönoton edellytykset herättivät epäröintiä, sillä teknologian vaatimat laitteisto- ja henkilöstökulut sekä osaavan henkilökunnan palkkaaminen tai kouluttaminen aiheuttivat huolta liiketoiminnan kannalta. Tämän lisäksi koettiin taitojen ja asiantuntemuksen puutetta, sillä teknologian käyttö AEC-teollisuudessa on vielä suhteellisen uutta. Tarkoituksena oli kartoittaa teknologian potentiaalisen käyttäjäkunnan havaitsemia esteitä ja syitä sille, miksi RTR:ää ei välttämättä käytetä vielä laajalti.

Teoreettisen viitekehyksen mukaisesti RTR:n hyödyntäminen sijoittuu tässä tutkimuksessa rakennushankkeen suunnitteluprosessin alle erityisesti hankesuunnitteluvaiheeseen, jossa sen käytöllä voi olla suurin potentiaali vaikuttaa päätöksentekoon esimerkiksi hankkeiden kilpailutuksessa.



## 4 TUTKIMUKSEN METODIIKKA

### 4.1 Tutkimusmenetelmät

Tässä tutkimuksessa tutkija tekee johtopäätöksiä omien havaintojensa pohjalta sekä toimii osana tutkimusta. Tutkimuksessa pyritään ymmärtämään RTR-tekniologiaa ja etsimään sille potentiaalisimpia käyttökohteita mahdollisimman pienin ennako-odotuksin. Tutkimusstrategia on laadullinen eli kvalitatiivinen tutkimus (Saunders, Lewis & Thornhill 2009). Tutkimukseen käytävä aineisto kerätään todellisessa tilanteessa ja kontekstissa. Kerätty englanninkielinen aineisto litteroidaan, redusoidaan, ryhmitellään ja uudelleenrakennetaan narratiivin luomiseksi. Sama toimenpide tehdään suomenkieliselle aineistolle, mutta litterointia ei tehdä.

Laadullisessa tutkimuksessa otanta on yleensä harkinnanvarainen ja tutkijan tekemät havainnot ovat kerättyä informaatiota tärkeämpiä (Järvenpää 2006). Tiedonkeruuteknikoihin lukeutuu esimerkiksi havainnointi, haastattelut tai kirjoitettu teksti kuten raportit (Saunders ym. 2009). Tässä tutkimuksessa otanta oli rajattu rakennusalan toimijoihin tai niiden yhteistyökumppaneihin, jolloin kerätty haastatteluaineisto tukee mahdollisimman hyvin tutkimuksen periaatteita.

Tarkoituksena oli haastatella yritysten digitalisaatiosta vastaavia tai siitä tietävien henkilöiden lisäksi myös alan toimijoita, jolla ei välttämättä ole samanlaista tietämystä asiaan liittyen. Digitalisaatio- ja teknologiaentusiastien ajattelumalli voi olla tässä kontekstissa divergentti, eli henkilö voi löytää useita vaihtoehtoisia ja luovia ratkaisuvaihtoehtoja teknologisissa ratkaisuissa. Heillä voi olla myös parempi hahmottamiskyky uusille mahdollisuuksille sekä haasteille paremman asiaan perehtyneisyyden perusteella. Toisaalta teknologian kanssa vähemmän työskentelevien alan toimijoiden puolesta voi nousta paljon tärkeitä toiminnallisia näkökulmia, joita teknologiaentusiastille ei välttämättä tule mieleen.

Tutkimuksen lähestymistavaksi valikoitui abduktiivinen eli teoriaohjaava lähestymistapa. Abduktiivisen päättelyn lähtökohtana on pyrkiä päättelemällä parhaaseen mahdolliseen selitykseen saatavilla olevasta empiirisestä todistusaineis-

tosta (Thagard & Shelley 1997). Teoriaosiossa käsiteltiin rakennushankkeen kulua sekä kartoitettiin RTR:n tämänhetkistä tilaa rakennusteollisuudessa. Käsiteltyjen aiheiden pohjalta ei ole tarkoitus kuitenkaan luoda organisaatioille ehdotettavia toimenpiteitä, joita kokeiltaisiin empiirisen osion aikana.

Tutkimuksen puitteissa ei ole mahdollista seurata pitkittäistutkimuksen keinoin todettujen käyttökohteiden toimivuutta ja niistä saatavia hyötyjä, joten tutkimus toteutettiin poikittaistutkimuksena. Tavoitteena on selvittää, mitkä ovat haastatteluvien käsitykset reaaliaikaisesta renderoinnista ja sen mahdollisuuksista. Teknologian hyödyntäminen visuaalisena havainnointityökaluna, sen arvon tuotto ja kehitystyö ovat tärkeitä tarkkailtavia asioita varsinaisessa RTR-hankkeessa.

Primääridatalla tarkoitetaan itse kerättyä aineistoa ja vastaavasti sekundääridatalla valmiin lähtöaineiston käyttämistä (Saunders ym. 2009). Empiirisen osion primääridatan tiedonkeruu toteutetaan tässä tutkimuksessa haastatteluiden avulla. Tiedonkeruun tarkoituksena on kerätä luotettavaa aineistoa tutkimuskysymyksiin vastaamiseksi. Haastatteluiden ideoinnin apuna käytetään sekundääridatana tutkijan työssä esille nousseita asioita ja hankkeissa esille nousseita aiheita RTR-teknologiaan liittyen.

Haastatteluiden aineisto voidaan jakaa professori Saundersin (ym. 2009) mukaan aineiston keruu- ja analyysimenetelminä avoimiin haastatteluihin, strukturoituihin haastatteluihin sekä puolistrukturoituihin haastatteluihin. Avoimet haastattelut ovat luonteeltaan vapaampia, eikä haastattelijalla ole käytössä valmista, ennalta kasattua kysymyslistaa. Haastattelijalle on kuitenkin selvää, mitä aihealueita hän aikoo haastattelussa käydä läpi.

Strukturoitu haastattelu (toiselta nimeltään lomakehaastattelu) toteutetaan käyttämällä aina samoja haastattelukysymyksiä koko tutkimuksen ajan kaikille haastatteluun osallistuneille. Vastaukset ovat ennalta rajattuja, joten haastateltavan tulee valita vaihtoehdoista omaa mielipidettä lähinnä oleva vaihtoehto. Puolistrukturoidussa eli teemahaastattelussa kysymykset ovat valmiiksi mietittyjä ja kaikille haastateltaville samat, mutta kysymysten välistä järjestystä voidaan muuttaa tai

tarvittaessa osa kysymyksistä voidaan jättää kokonaan pois riippuen haastattelukontekstista. Tässä tutkimuksessa käytetään puolistrukturoitua haastattelua haastatteluiden tutkimusmenetelmänä.

Puolistrukturoitu haastattelu valikoitui haastattelun tutkimusmenetelmäksi, koska kyseessä on uuden aihealueen tutkiminen ja haastateltavilla piti olla mahdollisuus vastata kysymyksiin vapaasti ja mahdollisimman laajasti. Puolistrukturoidun haastattelun eduksi nähtiin myös sen helppo mukauttaminen haastateltavalle sopivaksi. Haastattelun aikana esille tulleista mielenkiintoisista aiheista tai detaljeista voidaan myös tarpeen tullen esittää jatkokysymyksiä.

## **4.2 Perusteet haastateltavien valintaan**

Haastatteluun osallistuneet valittiin tutkijan työnkuvaan kuuluvien yhteistyökumppanien kannalta, jotka ovat joko rakennusalan ammattilaisia, alan toimijoiden yhteistyökumppaneita tai rakentamisen palveluntarjoajia. Osalle haastateltavista teknologian käyttö on työkuvassa jokapäiväistä, kun taas vastaavasti osa on kuullut siitä, muttei ole itse käyttänyt teknologiaa.

Tutkijan työssä oli tullut aiemmin ilmi, että tietyt henkilöt olivat osoittaneet kiinnostusta teknologiaa kohtaan ja olivat yhteistyöpalavereissa ja niiden ulkopuolella puhuneet teknologian potentiaalista tulevaisuudessa ja sen nykyisestä tilanteesta rakennusmarkkinoilla. Tutkija koosti listan potentiaalisista haastateltavista vuoden 2019 loppupuolella. Tarkoituksena oli jakaa mahdolliset haastateltavat mahdollisimman laajaan rakennusalan ammattilaisten, alan yhteistyökumppanien sekä rakentamisen palveluntarjoajien kirjoon, jotta tutkimus kattaisi mahdollisimman monta näkökulmaa esille haastattelurungon kysymysten puitteissa.

Perusteina rakennusalan ammattilaisten valitsemiselle haastatteluun oli monien vuosien asiantuntevuus erilaisista rakennusprojekteista ja niiden etenemismuodoista. Asiantuntijoiden antamien kommenttien perusteella voidaan luoda hyvä peruste sille, missä teknologian hyödyntämisen potentiaali voidaan nähdä tavanomaisen rakennushankkeen kulun näkökulmasta esimerkiksi suunnitteluvaiheessa. Alan yhteistyökumppaneilta voidaan saada parempaa ja ennen kaikkea

hyödyllistä informaatiota käyttäjän näkökulmasta, minkälaisia asioita teknologian tulisi esimerkiksi sisältää tai millaiset asiat vastaavat parhaiten käyttäjän odotuksia. Rakentamisen palveluntarjoajien näkökulmasta taas voidaan tarkastella käyttäjien antamaa palautetta, teknologian kehittämistä ja sen tulevaisuutta sekä potentiaalisia uusia käyttökohteita.

### 4.3 Haastatteluiden toteutus

Primääridatana käytettävän haastatteluaineiston ensimmäiset haastattelut pidettiin Karlsruheissa, Saksassa 14. helmikuuta 2020. Haastatteluun osallistuneet olivat RTR-teknologian asiantuntijoita ja RTR-alustan tarjoajia. Osallistuneiden kanssa oli keskusteltu loppuvuodesta 2019 helmikuussa 2020 pidettävästä haastattelutilaisuudesta sähköpostin välityksellä. Haastatteluissa oli käytössä haastattelurunko (Liite 2). Liitteen mukaan alussa olisi ollut tarkoitus selvittää teknologian alkutietämystä, jotta haastattelussa voidaan edetä jouhevasti. Haastateltavien laajan perehtyneisyyden vuoksi alkutietämyksen selvittämistä ei koettu tarpeelliseksi, vaan kysymyksiä muokattiin haastateltaville sopivammaksi. Kysymystä tarkennettiin, jonka jälkeen siirryttiin tarkastelemaan reaaliaikaisen renderoinnin tilannetta rakennusteollisuudessa, spekuloiitiin sen potentiaalisia käyttökohteita ja ideoitiin teknologian roolia tulevaisuudessa. Haastattelu järjestettiin yrityksen toimitiloissa, se nauhoitettiin ja toteutettiin englannin kielellä ja sovittiin, että haastatteluaineisto litteroidaan ja sen tiivistelmä lähetetään asianomaisille tutkijan toimesta.

Toinen haastatteluperiodi pidettiin maaliskuun alussa. Näihin haastatteluihin tutkimukseen osallistuneet saivat suomenkielisen haastattelukutsun. Haastattelut pidettiin ongelmallisen globaalin tilanteen takia videopalaverin muodossa etänä. Haastatteluissa mukana olleet olivat rakentamisen rahoituksen ja kehittämisen asiantuntijoita sekä ohjelmistoratkaisujen toimittajia AEC-teollisuudessa. Tämän haastatteluperiodin aikana päästiin kysymään haastateltavien alkutietämystä teknologiaan liittyen. Tarvittaessa tutkija tarkensi teknologiaan liittyvää termistöä haastattelun aikana, joka auttoi haastateltavien vastaamista haastattelurungon kysymyksiin. Tämän periodin aikana tutkija toimi ennemminkin havainnoijana ja

esitti esille tulleiden aiheiden ja aihealueiden perusteella tarkempia kysymyksiä haastateltavien toimialoihin liittyen.

Kolmas haastatteluperiodi pidettiin huhtikuun alussa. Haastatteluun osallistuneet saivat niin ikään suomenkielisen haastattelukutsun ja tilaisuus pidettiin videopalaverina. Mukana olleet henkilöt olivat kotipalveluiden tuottajia ikääntyneille ja rakennusalan toimijoiden yhteistyökumppaneita sekä kiinteistönomistajia ja rakentamisen asiantuntijoita.

Haastattelukysymysten tarkoituksena oli hakea yrityksiltä lisätietoa sekä tuoda mahdollisia potentiaalisia käyttötarkoituksia yrityksen tietoisuuteen. Kysymysten painotus muokkautui tarvittaessa yrityksen toimialan mukaiseksi. Haastattelun aikana kartoitettiin ensinnäkin, mitä reaaliaikainen renderointi on ja missä sitä voidaan hyödyntää. Haastattelukysymykset ohjasivat haastattelua kulkemaan rakentamisen puolelle – missä teknologian hyödyt näkyvät rakentamisessa parhaiten ja mitkä ovat teknologian yleisimmät käyttökohteet.

Haastattelun alussa tiedusteltiin myös syitä teknologian myöhäiselle implementoinnille rakennusalalla, vaikka tekniikka on ollut käytössä jo vuosikymmeniä peliteollisuudessa. Haastattelukysymysten lopussa kysyttiin haastateltavan visioita teknologian käytöstä tulevaisuudessa ylipäänsä, mutta myös rakennusalalla ja millaisia vaikutuksia sillä voi olla esimerkiksi rakennushankkeen osapuolten rooleihin tai käyttäjien osallistamiseen. Haastateltaviin valikoitui lopulta 10 osallistujaa, joille lähetettiin haastattelukutsu etukäteen (Liite 3). Menetelmätyypit, organisaatioiden toimialat, osallistujien tittelit sekä tilaisuuksien päivämäärät on koottu hahmottamaan kokonaisuutta (Taulukko 4).

<b>Menetelmä</b>	<b>Toimiala</b>	<b>Osallistujat</b>	<b>Päivämäärä</b>
Haastattelu (kaikissa)	Ohjelmistokehit- tämä, palveluntar- joaja	Toimitusjohtaja	14.2.2020
	Ohjelmistokehit- tämä, palveluntar- joaja	Liiketoiminnan kehitysjohtaja	14.2.2020
	Ohjelmistokehit- tämä, palveluntar- joaja	Tuki- ja koulu- tusjohtaja	14.2.2020
	Rakennuttami- nen/rahoitus ja kehitys	Yliarkkitehti	12.3.2020
	Rakennuttami- nen/rahoitus ja kehitys	Kehittämis- arkkitehti	12.3.2020
	Sovellus- ja ohjel- mistotoimittaja	Tietomalliasian- tuntija	12.3.2020
	Kiinteistöomis- taja/rakennutta- minen	Arkkitehti	7.4.2020
	Kiinteistöomis- taja/rakennutta- minen	Toimitusjohtaja	8.4.2020
	Kotipalvelutuot- taja ikääntyneille	Toimitusjohtaja	8.4.2020
	Kotipalvelutuot- taja ikääntyneille	Talous ja kehitys	8.4.2020

**TAULUKKO 4.** Yhteenvedo haastatteluista.

## 5 TUTKIMUKSEN TULOKSET

### 5.1 Käyttökohteet

#### 5.1.1 Käyttäjien osallistaminen

Rakennushankkeissa yhtenä ongelmana pidetään loppukäyttäjän oikeaoppista viestintää. Hanke suunnitellaan ja rakennetaan sen loppukäyttäjää varten, mutta jos käyttäjä ei ole tyytyväinen lopputuotokseen, hanke voidaan määritellä epäonnistuneeksi. RTR:n tavoitteena on antaa paremmat työkalut suunnitelmien hahmottamiseen ja tehdä sen havainnoimisesta läpi hankkeen kulun mielenkiintoisempaa ja immersivisempää.

On tärkeää, että yleisesti rakennushankkeessa mukana olevat henkilöt, mutta myös sen loppukäyttäjät voivat tarvittaessa kommunikoida BIM-kokonaisuuden ympärillä ja liikkua mallinnetun ympäristön sisällä. Tämän lisäksi yhtenä kehittämisideana nähtiin sovelluksen käyttöliittymän muokkaaminen sellaiselle tasolle, että asiakas tai loppukäyttäjä pystyy esimerkiksi tekemään havaintoja ja kommentteja suoraan sovelluksessa olevaan malliin omalla ajallaan. Tällöin asiakkaan ja suunnittelijan välillä vältytään väärinymmärryksiltä ja ajatukset mallin kehittämistä tapahtuu samalla aallonpituudella. Virtuaalimallissa suunnitelmien läpikäyminen ja yleisesti suunnitelmaratkaisuiden esittäminen muuttuu konkreettisemmaksi ja helpommin ymmärrettävämmäksi (Kuva 17).



**KUVA 17.** Kohteen esittelyä visuaalisesti. (Kuva: SARA-Rakennuttaja Oy, Niko Kautonen 2020)

Haastatteluissa muita ilmi tulleita asioita käyttäjien osallistamiseen teknologian puitteissa olivat muun muassa suunnittelun ja luonnostelun puolella. Esiin nousi mielenkiintoinen esimerkki: Arkkitehdillä on oma näkemys siitä, miltä hanke tulisi näyttämään. Idean kommunikointi tasolle, jolla asiakas ymmärtää sen samalla tavalla kuin suunnittelija, voi olla vaikeaa ilman tarkoituksenmukaisia laadukkaita työkaluja. Tässä reaaliaikaisen renderoinnin tarjoamat ominaisuudet nousevat haastateltavien mukaan parhaiten esiin. Nähtiin myös, että vaikka teknologian kehittyessä lähitulevaisuudessa sovellukset voisivatkin tarjota helppokäyttöisen käyttöliittymän, joita asiakkaan on helppo käyttää esimerkiksi muutostentekoon kotona, se ei tule silti poistamaan suunnittelijan roolia, vaan suunnittelijan rooli muuttuu enemmänkin mallin konsulttoijaksi. Tällöin suunnittelija voi rajata esityksen aikana tiettyjä asioita, mitä on mahdollista tehdä ja paljonko tietyt muutokset kustantavat.

Toisena asiana nähtiin edellytykset riittävään laitteistoon sekä ohjelmiston asennukseen, jotta reaaliaikaista renderointia voidaan hyödyntää mahdollisimman hyvin. Joillakin RTR:n sovelluksilla on mahdollisuus viedä malli palvelimen kautta



verkkosivulle, jolloin ei ole tarvetta tehokkaammille tietokoneille, vaan tarvittaessa mallin voi avata tavallisella kannettavalla tietokoneellakin. Verkkosivulle viety malli ei kuitenkaan vastaa laadullisesti sovelluksen tarjoamaa laatua, mutta sillä voidaan yleensä silti havainnoida mallia riittäväällä tasolla. Jos hankkeen osapuolet haluavat kuitenkin tarkastella laadukkaampaa mallia, se vaatii tällä hetkellä kokoontumista yhteen paikkaan siten, että yksi ohjelmiston omistava osapuoli kontrolloi mallia. Kehitysideaksi nousi ajatus siitä, että jos laadukkaampi malli voitaisiin viedä pilvipalveluun niin, että hankkeen osapuolet voisivat tarkastella sitä esimerkiksi kotoa käsin, teknologian hyödyntämisen käyttöympäristö muuttuisi merkittävästi rakennushankkeissa.

Eräänlaiseksi osallistamismenettelyksi nousi esiin naapurien kuuleminen rakennuslupaa haettaessa tai lupahakemuksen vireille tulosta. Reaaliaikaisen renderoinnin tarjoamaa päivänaikojen vaihtelu -ominaisuutta voitaisiin hyödyntää varjosimulaation esittämisenä. Rakennettavan tontin naapurit voitaisiin osallistaa hankkeeseen esittämällä valmis visualisointimalli, jossa voidaan simuloida mallin volyymin ja massan aiheuttamien varjojen vaikutus naapuritonteille. Koettiin, että tällä tavalla naapuri otettaisiin paremmin huomioon rakennushankkeessa. Validusten määrä voisi myös vähentyä, kun voidaan näyttää jo kaavavaiheessa, millaisesta rakennuksesta on kyse ja millainen vaikutus sillä on naapuritonteille ja katukuvaan.

Loppukäyttäjien näkökulmasta teknologian hyödyntämisen pääajatuksena nähdään kustannustehokkuus, mahdollisuus havainnoida mallia mahdollisimman tarkasti jo luonnosteluvaiheessa, ajansäästö sekä teknologian helppokäyttöisyys. Mitä nopeammin hankkeeseen liittyvät suunnitelmat (sisustussuunnittelu, valaistussuunnittelu, sähkösuunnittelu, LVI-suunnittelu, arkkitehtisuunnittelu ym.) saadaan lyötyä lukkoon, sitä nopeammin siellä tehdyt päätökset voidaan saattaa malliin ilman ylimääräisiä revisioita. Tällöin loppukäyttäjä voidaan osallistaa nopeammin valmiiseen malliin, jonka perusteella päätöksenteko helpottuu ja aikaa säästyy muihin työvaiheisiin.

## 5.1.2 Kommunikointi ja yhteistyö

Iso osa rakennusalan ongelmista liittyy jollakin tapaa katkonaiseen tai muulla tavoin epäonnistuneeseen viestintään. Keskusteluketjut hankkeen osapuolten välillä voivat olla todella pitkiä, väärinymmärryksiä ja epäselvyyksiä ilmenee sekä konkreettinen kytkös reaaliaikaisiin suunnitelmiin ja malleihin puuttuu kokonaan. Matkustaminen paikkakunnalta toiselle aiheuttaa ylimääräisiä kuluja sekä kuluttaa aikaa. RTR:n käyttö voi tarjota ratkaisun paikkariippuvuuden poistamiselle. Hankkeen osapuolien ei tarvitse kokoontua samaan paikkaan, kun voidaan hyödyntää virtuaalilaisuuksia, jossa voidaan kommunikoida mallinnetun tietomallin ympärillä. Mallin sisältöä voidaan lähitulevaisuudessa tarkastella piilottamalla eri tasoja ja niiden materiaalitietoja sekä kustannuksia voidaan analysoida objektien metatietojen perusteella, mikä mahdollistaa esimerkiksi hankkeen osapuolten ja materiaalivalmistajien välisen yhteistyön (Kuva 18).



**KUVA 18.** Metatietojen tarkastelu Enscapen virtuaalimallissa. (Kuva: Enscape)

Yhteistyö hankkeen osapuolten välillä, kuten sisustussuunnittelijoiden ja arkkitehtien tai visualisoijien tapauksessa helpottuu reaaliaikaisen renderoinnin myötä. Nopea mallin muuntaminen ja iterointi sekä teknologian tarjoama kommunikointitapa ilman erillisten visualisointikuvien ottamista helpottaa visualisoijan

työtä ja nopeuttaa pääsyä haluttuun lopputulokseen. Pienet ongelmat, kuten värisävyt ja huonekalujen paikan muuttaminen onnistuvat pienin vaivoin, kun vuorovaikutus suunnittelijoiden välillä toimii.

RTR:n kommunikointiominaisuuden hyödyt nähdään myös esimerkiksi projektin hankinnassa. Potentiaalisesta rakennusprojektista voidaan koostaa näyttävä visuaalinen aineisto, joka voidaan esitellä hanketta kilpailuttavalle henkilöstölle muun dokumentaation tukena. Visuaalisen materiaalin koostaminen ja mahdollisuus liikkua visualisoidussa mallissa jo hanketta esiteltäessä osoittaa hyvää perehtyneisyyttä projektin lähtöaineistoon sekä voi toimia ratkaisevana tekijänä projektin tilaamiselle. Visuaalisen mallin koetaan toimivan oivana keskusteluvälineenä niin urakoitsijan ja tilaajan välillä kuin rakennusvalvonnan suuntaankin. Lisäksi ymmärrys siitä, mitä ollaan tarjoamassa, on yksiselitteistä visuaalisella materiaalilla.

Visualisoijien sekä muiden hankkeen suunnittelijoiden välinen yhteistyö ja viestintä koettiin tärkeänä kokonaisuutena. Arkkitehtien ja vastaavien suunnittelijoiden omat visiot kohteen tulevasta ulkonäöstä on helpompaa omaksua ulkopuolisena RTR:n ominaisuuksien ansiosta. Suunnitelmia koettiin mielekkäämmäksi käydä läpi yrityksen sisällä ja laatia niistä paras mahdollinen suunnitelma ja visualisointiaineisto asiakkaan vaikuttamiseksi. Asiakas tekee usein päätöksiä tunneperustein, joten visualisointimateriaalilla voi olla varsin tärkeä vaikutus projektin markkinoinnissa.

Rakentamisen aikana nousi esiin työmaakokouksien pitäminen etänä, jolloin paikkasidonnaisuus vähenee ja RTR:n implementointi viestinnän välineenä vastaavasti kasvaa. Koettiin myös, että visuaalinen tietomalli voi toimia yhteistyössä työmaakierrosten yhteydessä havaittavien asioiden tukena. Visuaalisesta tietomallista voidaan tarkastella rakenteiden paikkaa ja metadataa sekä verrata sitä rakentamisen aikana fyysisesti tehtyyn rakenteeseen.

### 5.1.3 Koulutus ja perehdyttäminen

RTR:n käytön koulutuksen ja perehdyttämisen näkökulmat jakautuivat kahtia. Osa haastateltavista oli sitä mieltä, että teknologian kehittymisen kannalta on tärkeää, että järjestetään koulutuksia, joissa opetellaan teknologian käyttöä rakennusalalla. Tätä puoltavana näkökulmana nousi myös esiin, että oma luovuus ja kompetenssi lisääntyisi pienen kilpailun myötä. Lisäksi työskentely teknologian parissa olisi motivoivampaa ja mahdollisimman tuottavaa. Hyödynnettäisiin jakamistalousperiaatetta, jota pidettiin vastaajien kesken jokseenkin tärkeänä asiana.

Haastateltavien mielestä oli selvää, että kouluttamisesta ja perehdyttämisestä olisi hyötyä ja sitä varmasti tehdään joissakin yrityksissä pienenä sivutuottona, mutta osan mielestä ei ole järkevää lähteä jakamaan tällaista informaatiota eteenpäin, koska se nähdään yrityksen omana osaamisena. Tiedonjaon yhteydessä menetettäisiin yrityksen kilpailuvaltti, jonka myötä myös omien asiakkaiden määrä voi vähentyä pitkällä aikavälillä. Tällöin tiedon jakamisesta ansaittu sivutuotto voi olla pienempi kuin menetetty tuotto mahdollisen asiakaskadon takia.

Yhtenä tärkeänä huomiona nousi esiin myös käyttäjien osallistamisen näkökulma, jossa asiakkaalla voisi olla mahdollisuus itse muokata mallia tai tehdä siihen kommentteja lähitulevaisuudessa, mikäli sovelluksen käyttöliittymän helppokäyttöisyys antaa siihen riittävät edellytykset. Tämä nähtiin pienenä välivaiheen tarpeena, mutta lähtökohtana sovelluksen käyttöliittymälle pitäisi olla se, että käyttöliittymä on niin intuitiivinen, ettei erillistä koulutusta sen käyttämiselle tarvittaisi. Yleisesti vastaajien kesken koulutus ja perehdyttäminen voi tarjota pientä sivutuottoa RTR-sovellusten asiantuntijoille ja palveluntarjoajille, mutta merkittävää tulovirtaa sillä ei uskota saavutettavan.

### 5.1.4 Markkinointi

Loppukäyttäjän tai sijoittajan näkökulmasta asuntoon investointi voi aiheuttaa stressin, huolien, epäilyjen, toiveiden ja innostuksen tunteita tai niiden sekoituksia. Kiinteistövälittäjille, rakennusyrittäjille ja yksityisille tahoille on todella tär-

keää pystyä esittelemään tuotteensa niin, että asiakkaalle jää esiteltävästä asunnosta mahdollisimman hyvä kuva ja negatiiviset tunteet vähenevät. Harvan ihmisen hahmotuskyky ja mielikuvitus riittää kuvittelemaan ennakkomarkkinoitavaa asuntoa omaksi kodiksi pelkästään mustavalkoisen pohjapiirustuksen perusteella. Pahimmassa tapauksessa puutteellinen ennakkomarkkinointimateriaali johtaa siihen, että potentiaalinen ostaja ei kiinnostu asunnosta ja kaupat jäävät tekemättä.

Loppukäyttäjän näkökulmasta on tärkeää, että ennakkomateriaali on laadukasta ja immersivistä, jolloin kiinnostus asunnosta herää ja sillä voi olla edesauttava vaikutus päätöksenteolle asunnon ostamisen kannalta. Rakennustyömaan ei tarvitse edes olla perustettu, kun visuaalista ennakkomarkkinointimateriaalia voidaan alkaa luomaan RTR:llä (Kuva 19).



**KUVA 19.** Visuaalista ennakkomarkkinointimateriaalia. (Kuva: SARA-Rakennuttaja Oy, Niko Kautonen 2020)

Vaikka RTR:n potentiaali tiedostetaan ennakkomarkkinointimateriaalin luomisessa, siihen on olemassa parempiakin tekniikoita, jos kyse on staattisista visualisointikuvista. RTR:n hyödyntämisen painotus onkin enemmän suunnittelun aikaisessa kohteiden havainnollistamisessa. Staattiseen visualisointikuvan tekemiseen on olemassa useita offline rendering -ohjelmistoja, mutta näistä vain ohjel-

mistojen kärki yltää todentuntuisiin lopputuloksiin. Näistä saatavat visualisointikuvat ovat kyllä laadultaan parempia kuin tämänhetkiset RTR:n sovelluksien vastaavat, mutta huomattavasti pitkäkestoisempia ja työläämpiä tehdä. Lisäksi RTR:n tuottaman visualisointimateriaalin laatu on todella lähellä offline rendering -ohjelmistojen tarjoamaa laatua, joten kustannus- ja ajansäästösyistä päädytään käyttämään mieluummin RTR:n tuottamaa visualisointimateriaalia. Offline rendering -ohjelmistojen hyöty nähdään enemmänkin loppumateriaalien tuottamisessa, jolla voidaan luoda erittäin vaikuttavia visualisointeja rakennushankkeen loppupuolella.

Paikkasidonnaisuuden poistamisen tuomat edut havaittiin markkinoinnissakin, kun esille nousi ajatus asuinrakennusten ja niiden asuntojen markkinoimisesta kansainvälisille sijoittajille. Erityisen hyödyllisenä RTR nähtiin tässä tapauksessa tilanteessa, jossa potentiaalinen loppukäyttäjä ei pääse paikan päälle joko pitkän välimatkan takia tai muista rajoittavista tekijöistä johtuen.

### **5.1.5 Työpajat**

Reaaliaikaista renderointia on lähes kaikkien haastateltavien mukaan hyödynnetty rakennushankkeessa työpajojen muodossa. Työpajalla tarkoitetaan tässä kontekstissa hankkeiden osapuolien tai sidosryhmien osallistamista hankkeen suunnitteluun. Työpajoja on mahdollista pitää missä vaiheessa rakennushanketta tahansa, mutta haastateltavien mukaan yleisesti niitä on pidetty rakennushankkeen hankesuunnitteluvaiheessa. Työpajojen hyötyinä nähtiin produktiiviset suunnittelukeskustelut, suunnittelukehitys työpajojen yhteydessä nousseiden asioiden myötä sekä niistä muodostuneet ratkaisut hankkeen jatkoa ajatellen. Osan haastateltavien mukaan työpajoissa ja palavereissa on ollut tietomallipohjaista suunnittelua ja esille tulleet asiat ovat kirjattu ylös, mutta suoranaista RTR:n hyödyntämistä ei vielä ole tapahtunut työpajojen aikana. Tietomalli on kuitenkin toiminut välttämättömänä keskusteluvälineenä.

Kaikki haastateltavat olivat sitä mieltä, että työpajojen ansiosta päätöksentekoprosessi nopeutuu ja sitä mukaa myös hankkeen alussa olevien suunnitteluvaiheiden työvaiheet nopeutuvat. Hankkeen osapuolten välisissä työpajoissa on

mahdollisuus ottaa kantaa suunniteltujen tilojen toiminnallisuuksien toimivuuteen sekä voidaan simuloida päivänvalon vaikutusta tiloihin ja tehdä johtopäätöksiä esimerkiksi jäähdytyksen tarpeista. Vaikuttavilla, visuaalisilla esitystyöpajoilla voidaan luoda uusia sidosryhmiä ja sitä kautta uusia asiakaskontakteja.

Työpajojen hyöty nousi esiin uudisrakentamisen lisäksi myös korjausrakentamisen puolella. Korjausrakentamishankkeissa voidaan simuloida lisärakentamisen vaikutusta katukuvaan, lisärakentamisen muodostamiin varjokohtiin sekä lähitulevaisuudessa myös rakennuksen kantavuuteen. Lisärakentaminen voi olla tapahtua myös rakennuksen sisällä. Jos olemassa olevaan rakennukseen esimerkiksi rakennetaan hissikuilu, RTR:llä voidaan tarkastella, riittävätkö olemassa olevat dimensiot sen rakentamiseen. Tässä kontekstissa reaaliaikaisen renderoinnin tarkoituksena on tuoda alustavaan suunnitelmaan varmuutta näyttämällä visuaalisesti suunnitellun lähestymistavan tulos.

Haastateltavien mukaan RTR:n hyödyntäminen rakennushankkeen työpajoissa on tullut jäädäkseen. Rakentaminen on yhä tehokkaampaa ja nopeampaa, ja moduulipohjaisesta rakentamisesta on tullut iso osa sitä. Erään haastateltavan mukaan mitä pidemmälle moduulipohjainen rakentaminen menee, sitä yksinkertaisempaa reaaliaikainen suunnittelu on. Tällöin mahdollistuu ajatus siitä, että isojakin linjoja voidaan muuttaa tarvittaessa radikaalisti työpajojen aikana ja nähdä, millainen vaikutus voi olla rakennukselle.

Erään haastateltavan mukaan RTR:n tarkoituksena ei ole kuitenkaan korvata rakennushankkeen hankesuunnittelun aikaisia tärkeitä selvityksiä ja muita dokumentteja, vaan nimenomaan tukea niitä. Reaaliaikaisen renderoinnin työpajamenetelmän nähdään toimivan parhaiten silloin, kun hankkeen perusasiat ovat jo kiinnitetty, mutta tietyt yksityiskohdat vaativat ratkaisemista. Tämä pätee varsinkin, kun hankkeiden koko kasvaa. Mitä monimutkaisempi ja kompleksisempi hanke on, sitä tärkeämpää on visualisoida tuleva rakennus tarkasti.

### 5.1.6 Laadunvarmistus

Reaaliaikainen visuaalinen tietomalli mahdollistaa suunnitelmien paremman laadunvarmistuksen helpon luettavuutensa ja tarkistusmahdollisuuksiensa vuoksi. Realistisen geometrian ansiosta mallista voidaan havaita visuaalisesti tarkastelemalla mahdolliset virheet tavallisia piirustuksia helpommin. Mallin avulla mahdollistuu myös törmäystarkastelun ominaisuus, jossa eri suunnittelijoiden tekemät mallit voidaan linkittää yhteen ja niiden avulla voidaan automaattisesti löytää mahdollisesti toisiinsa törmäävät osat, esimerkiksi ilmastointikanavat tai rakennepalkit. Mallista voidaan reaaliajassa piilottaa tasoja, jolloin esimerkiksi näkyvät seinät ja alakatot saadaan pois taloteknisten elementtien, kuten ilmastointikanavien tai hormien tieltä. Voidaan tarkistaa, toteuttaako malli suunnitelmiseen annettuja ehtoja esimerkiksi hätäpoistumisteiden pituuksien osalta, ovatko ikkunat oikeassa korossa tai ovatko valitut rakennusmateriaalit käyttöiltään ja rakenteiltaan hankkeeseen sopivia ja riittäviä. Näin ollen voidaan varmistaa, että kaikki suunnitteluosapuolet tunnistavat hankkeen mahdollisuudet ja rajoitteet.

### 5.1.7 Yhteenveto

Haastatteluihin osallistuneiden yhteinen lähestymistapa oli selkeä – RTR:n suurin potentiaali on rakennushankkeen suunnitteluvaiheissa, etenkin luonnossuunnittelutasolla. Kommunikointi selkeytyy, väärinymmärrykset vähenevät, aikaa säästyy sekä paikkasidonnaisuus poistuu. Suunnittelua voidaan tehdä reaaliajassa asiakkaan kanssa ja asiakkaalla on omat mahdollisuutensa vaikuttaa hankkeen suunnitteluun ja kulkuun sovittujen rajojen puitteissa. Asiakas tai rakennuksen loppukäyttäjä voi kokea valmiin visuaalisen mallin ennen kuin rakentamista on ehditty aloittaa.

RTR:n ansiosta suunnitelmien läpikäyminen ei edellytä monen vuoden perehtyneisyyttä pohjapiirustuksen esitystapojen ymmärtämiseksi, vaan mallia voidaan tarkastella visuaalisesti ja alustavissa suunnitelmissa esiintyneet mahdolliset ongelmakohdat voidaan korjata reaaliajassa. Haastateltavien mukaan nimenomaan suurempi suunnittelun joustavuus ja parempi visuaalinen mahdollisuus havainnoida mallia on yksi tärkeimmistä RTR:n tarjoamista ominaisuuksista.



Luonnosvisualisointimateriaalin korkealaatuisuus ja yksiselitteisyys nähtiin myös tärkeänä asiana, jolloin visuaalinen materiaali toimii loistavana keskusteluvälineenä niin hankkeiden osapuolten välillä kuin esimerkiksi projektien hankinnassa tarjouspyyntöön menevien teknisten dokumenttien tukena. Loppumateriaalin valmistamista hankkeen markkinoinnissa taas ei nähty suuressa osassa, sillä markkinoilla on olemassa offline rendering -ohjelmistoja, jotka ovat laadullisesti hie-man reaaliaikaisen renderoinnin sovelluksia parempia. Niin ikään reaaliaikaisen renderoinnin kouluttamista ulkoisille yrityksille ei nähty juurikaan hyödyllisenä, koska sen hyötysuhteen koettiin olevan pieni ja taloudellisesti enemmän haitaksi kuin hyödyksi yrityksille.

Markkinointiin reaaliaikaisella visuaalisella suunnittelulla nähtiin olevan paikoin ratkaiseva vaikutus asuntojen myyntiin. Sillä voidaan luoda immersiiivinen kuva potentiaaliselle loppukäyttäjälle siitä, millaiselta käyttäjän tuleva koti voi näyttää ja kuinka asunnon tilojen toiminnallisuus toimii, minkä verran valoa asuntoon pääsee ja millaiset näkymät asunnosta on ympäröivään maastoon. Teknologian puitteissa asiakkaan ei tarvitse päästä paikan päälle katsomaan ja kokemaan asuntoa, vaan sen pystyy tekemään esimerkiksi omalta kotikoneelta.

Teknologian käyttö työpajojen muodoissa on mahdollista missä tahansa rakennushankkeen vaiheessa, mutta yleisesti sen hyödyt nähtiin varsinkin hankkeen hankesuunnitteluvaiheessa. Etuihin nousi uudishankkeissa työpaja-aikainen suunnittelukeskustelu, suunnittelukehitys ja päätöksenteon helpottuminen. Korjaushankkeissa esiin nousi vastaavasti lisärakentamisesta aiheutuneen rakennuksen koon kasvamisen simulointi katukuvassa.

## 5.2 Hyödyntämisen nykytila

### 5.2.1 Teknologian käyttö

Valtaosa RTR-teknologiaa hyödyntävistä yrityksistä rakentamisessa käyttää teknologiaa arkkitehtuurin ja suunnitelmien visuaalisen esityksen tai rakennushankkeen aikaisten materiaalivalmistajien välisen kommunikoinnin apuvälineenä. Tiedostetaan, että teknologialla on enemmän potentiaalia, kuin mihin valtaosa yrityksistä sitä käyttää. Tilanne on tällä hetkellä se, että piilevää potentiaalia tai käyttötarkoituksia, joissa potentiaali pääsisi täyteen iskuunsa, ei ole vielä löydetty tai sitä ei ole osattu määrittää. Erilaisia kokeiluja varsinkin lisätyn todellisuuden (AR) sovelluksien kanssa ollaan tehty, mutta niiden toimivuus ei ole vielä vakuuttanut rakennusalan yrityksiä eikä kokeiluista saadut tulokset ole vielä voittaneet perinteisiä tapoja. Muutamat kokeilut esimerkiksi RTR:n ja AR:n yhteensovittamisesta rakennushankkeissa ovat osoittaneet lupaavia tuloksia ja niiden pohjalta on tehty jo käyttöön otettavia sovelluksia, jotka ovat pikkuhiljaa yleistymässä (Kuva 20).



**KUVA 20.** Pohjapiirroksen tarkastelua SmartReality -sovelluksen avulla. (Kuva: Autodesk. Yoders, 2014)

Tämänhetkisen reaaliaikaisen visuaalisen suunnittelun käyttö rakennushankkeissa on pikkuhiljaa yleistynyt ja varsinkin arkkitehtitoimistot ovat alkaneet ymmärtää teknologian tarjoaman potentiaalin omassa työssään. Nykypäivänä tietotekniikka ja tietokoneiden komponenttien suorituskyky ei ole enää este teknologian käyttämiselle ja sen yhteensovittaminen suunnitteluohjelmistoihin on luontevaa ja yksinkertaista. Teknologian optimointi suunnittelutyökaluihin on osoittanut niin helpoksi, että on katsottu järkeväksi ottaa RTR-teknologia mukaan jokapäiväiseen tilasuunnitteluun.

Suomessa teknologian käyttö on vielä ollut suhteellisen vähäistä, koska siitä ei ole välttämättä koskaan edes kuultu tai ei ole vielä tiedostettu ja ymmärretty täysin teknologian potentiaalia. Suurimmaksi syyksi luokiteltiin kuitenkin konvergentti ajattelutapa eli yhden käytännöllisen ja optimaalisen ratkaisun etsiminen. Rakennusalalla ollaan voitu aikaisemmin löytää jokin tehokas ja hyvä tapa suorittaa tietty työtehtävä eikä siitä haluta poiketa. Ei ole mielenkiintoa tai halua lähteä etsimään vaihtoehtoisia ratkaisuja saman työtehtävän toteuttamiseksi, joka voi pahimmillaan manifestoitua samaan työtehtävään jumiutumisenä.

### **5.2.2 Yleiset asenteet ja mielipiteet**

Yleiset asenteet teknologiaa kohtaan koetaan hieman kaksijakoisina. Haastateltavien mukaan osa rakennusalan toimijoista ja organisaatioista uskoo vahvasti teknologiaan ja se on implementoitu osaksi omaa liiketoimintaa, mutta osa taas luottaa edelleen eniten työmaalla virallisiin paperidokumentteihin ja haluavat tarkastella niitä. Yhdeksi syyksi epäillään vanhemman sukupolven yleistä ennakkoluuloista asennetta jatkuvasti kehittyvää teknologiaa kohtaan ylipäänsä.

Useat organisaatiot visioivat oman yrityksensä liiketoimintaa viiden, jopa kymmenen vuoden päähän. Tällaiset organisaatiot osoittavat selkeää mielenkiintoa ja intoa lähteä tekemään suuria edistysaskeleita sen eteen, että rakennusala kehittyy heidän haluamallaan tavalla. Kontrastia asiaan tuovat yritykset, joilla ei ole kasvuintressejä, vaan haluavat toimia samalla tavalla kuin ennenkin.

Yleisiin mielipiteisiin ja asenteisiin vaikuttaa osaltaan myös se, että rakennusalan yrityksiä johtoportaassa on tapahtunut sukupolvien vaihdos. Uudemalla sukupolvella nähdään olevan erilaiset valmiudet ja lähestymistavat käsitellä uudemman teknologian hyödyntämistä rakennushankkeissa. Uudempi sukupolvi uskoo, että teknologia tulee yleistymään Suomessa, varsinkin kun teknologian kehittyessä myös tekniikan vaatiman laitteiston ja ohjelmistojen kustannukset ovat tulleet reilusti alas verrattuna viime vuosikymmenen aikaisiin ratkaisuihin.

Varsinkin asiakkaiden tai hankkeiden osapuolten ensikosketus teknologiaan on voinut muuttaa radikaalistikin käyttäjien asenteita ja mielipiteitä. Jotkut rakennusalan toimijat saattavat suhtautua reaaliaikaiseen visuaaliseen suunnitteluun varauksella, koska eivät välttämättä tiedä, mitä odottaa. Tutkija on omassa työssään päässyt kokemaan vastaavia ennakkoluuloja ja mutta myös ennakkoluulojen katoamista ensikosketuksen jälkeen, kun ollaan uskallettu suorittaa ensikosketus teknologiaan.

### **5.2.3 Yleistymisen haasteet**

Joillakin yrityksillä tai organisaatioilla voi olla omanlaisensa imago, jonka yritys on rakentanut perinteisin menetelmin asiakaskuntaa ja palvelutasoja myöten. Yrityksen asiakkaat voivat olla tyytyväisiä lopputuotoksiin ja palveluihin, eivätkä he vaadi palveluiden muokkaamista tai RTR:n käyttöönottamista – miksi siis yrityksen tulisi käyttää teknologian oppimiseen aikaa tai rahaa?

Toisena haasteena nähdään yleensä isompien panostusten sekä investointien tekeminen, jollei investointikulut kata itseään tarpeeksi nopeasti. Se liitetään usein siihen, että saatetaan pelätä riskiä menettää rahaa. Tämän takia järjestetään erilaisia yritystilaisuuksia, joissa tuodaan alan informaatiota kollegoille. Muilla saman alan toimijoilla on vastaava tavoite tarjota laadukas ratkaisu, joka palvelee mahdollisimman hyvin asiakkaita, mutta samalla tukee omia tavoitteita nopeasti ja tehokkaasti.

Haastateltavista osa vastasi, että implementoinnin aiheuttama kehitystyön tarve on liian pitkäkestoista ja työlästä. Luotetaan siihen, että vanhat menetelmät ovat

edelleen tehokkaampia eikä päivittämisen pakkoa ole. Suurin osa haastateltavista kuitenkin totesi, että yrityksen palveluiden päivittämisen puute tulee näky-mään ennemmin tai myöhemmin negatiivisesti yrityksen asiakaskunnassa ja lii-ketoiminnassa.

Eräs mielenkiintoinen näkökulma nousi esiin siitä, että rakennusalaalla muutos-vastarintaa voi aiheuttaa osaltaan pelko oman ammattiosaamisen tarpeellisuus-häviämisestä. Mielikuvan poistamiseen kuluu aikaa, ja sillä on varmasti ajal-linen vaikutus teknologian implementoinnille rakennushankkeissa. Näkökulmaa pidettiin haastateltavien kesken hieman yllättävänä, koska teknologian käyttö ni-menomaan antaisi arkkitehdille mahdollisuuden keskittyä juuri siihen, mitä hänen tulisi hankkeessa tehdä. Arkkitehdin tulisi olla rakennuksen toiminnallisuuksien ja ulkonäön asiantuntija, mutta hankkeen aikana työtehtävät voivat vaihdella aivan muihinkin asioihin. Teknologian suurimpana etuna arkkitehdille nähtiin se, että arkkitehti pääsee keskittymään siihen, joka on hänen ydinosaamisaluettaan sen sijaan, että pyrittäisiin vaivalloisesti viestiä omaa suunnitteluaikomustaan (engl. design intent). Viestin välittäminen oikein muille hankkeen osapuolille tai loppu-käyttäjälle voi välillä olla vaikeaa ja työlästä, mutta reaaliaikaisella renderoinnilla suunnitelmien visuaalinen esittäminen koetaan helppona ja nopeana.

### **5.3 Teknologian tulevaisuus**

#### **5.3.1 Visiot ja mahdollisuudet**

Lisätyn todellisuuden yhteensovittaminen reaaliaikaiseen renderointiin uskotaan varmasti olevan isommassa osassa rakennusteollisuudessa lähitulevaisuu-nessa. Se käsittäisi niin uudis- kuin korjausrakentamisenkin kohteet. Visualisoitu malli voitaisiin viedä todelliseen ympäristöön, jolloin käyttäjä näkee hankkeen ko-konaisuuden, vaikka rakentaminen olisi vielä vaiheessa.

Muutosten tekeminen suoraan virtuaalimallissa hyödyntäen laajennettua todelli-suutta (XR) tulee varmasti yleistymään. Aika näyttää, kuinka pitkälle muutosten tekeminen on teknologisesti mahdollista viedä. Esiin nousi myös virtuaalitapaa-

miset, joissa niin ikään hyödynnettäisiin laajennettua todellisuutta. Niitä on jo jonkun verran järjestetty maailmalla, mutta niiden uskotaan yleistyvän globaalisti. Keinojen, joilla voidaan poistaa paikkasidonnaisuutta ja parantaa viestintää rakennushankkeen tapaamisten aikana, uskotaan kehittyvän vielä huomasti.

Mallin tarkastelu asiakkaan näkökulmasta omatoimisesti nähtiin myös yhtenä lähitulevaisuuden visiona. Jos ja kun teknologia kehittyy ja asiakkaat tottuvat teknologian käyttöön suunnittelutyökaluna, yritykset voivat tarjota mahdollisuuden käyttää VR-laitteistoa (tai vastaavasti asiakas hankkii välineet itse), joilla asiakkaat voivat tarkastella virtuaalimallia ja myös kommentoida mahdolliset puutteet tai kehitysehdotukset malliin. Pidemmän tähtäimen visiona nähtiin myös mahdollisuus siitä, että asiakas voisi kokeilla itsenäisesti muutoksen tekoa mallissa ja myös tehdä haluamansa muutokset suoraan malliin, kunhan jonkunlainen reaaliaikainen kustannuslaskentamenetelmä saadaan integroitua sovellukseen ja tietyt parametrirajoitteet on ensin sovittu suunnittelijan ja muiden osapuolien kanssa.

Reaaliaikaisen kustannus- ja energialaskennan implementointi reaaliaikaisen renderoinnin tueksi rakennushankkeisiin tulevaisuudessa koetaan mahdollisuutena, mutta ne ovat vielä jonkunlaisen kehitystyön päässä. Ne toisivat lisää varmuutta rakentamisen ja ylläpidon kustannuksien laskentaan, mutta myös rajaisivat rakentamiseen käytettävien materiaalien käyttöä ja sitä kautta koko hankkeen budjettia.

### **5.3.2 Osapuolien roolien muuttuminen**

Suurin osa haastateltavista uskoi hankkeen osapuolien roolien muuttuvan, joidenkin mielestä suhteellisen radikaalistikin. Etenkin pääsuunnittelijan, rakennuttajan ja rakentamisen aikaisten hankkeen osapuolien roolien uskottiin muuttuvan jopa melko nopealla aikataululla. Luultavasti tullaan näkemään eräänlainen valтатаistelu vanhemman ja nuoremman sukupolven välillä digitaalisen rakentamisen yleistymisen myötä. Rakennusala tulee kokemaan ison jaon digitaalisen rakentamisen ja perinteisen rakennushankkeen kulun käyttäjien välillä.

Tärkeänä asiana koettiin teknologian yleistymiselle roolien jaotusta ja kuka on asian tiimoilta ensinnä hereillä. Sillä koetaan olevan merkittävä liiketoiminta- ja laadullinen potentiaali, jolla voidaan tehostaa myös olemassa olevaa liiketoimintaa. Haastateltavien mukaan on mielenkiintoista nähdä, miten käy hankkeen yleiselle ikuisuuskyksymykselle: kuka johtaa hanketta, rakennuttaja vai arkkitehti?

Yleisesti ottaen haastateltavat kannustavat tarkastelemaan, mikä on mahdollista ja mihin suuntaan kehityskulku rakennushankkeissa on menossa teknologian osalta. Se ei silti saa poistaa osapuolien vastuualueita, kuten esimerkiksi rakennussuunnittelijoiden ymmärrys kuormista, rakenteista ja kantavuuksista. Arkkitehteillä vastaavasti rakennuksen tilallisen suunnittelun tulee edelleen olla laadukasta ja vaikuttavalla visualisointiaineistolla ei saa hämärtää tilojen oikeaa kokoa ja toiminnallisuutta. Osa haastateltavista spekuloi myös mahdollisuutta, jossa roolimuuostosten näkökulmasta Suomessa voitaisiin jossain kohtaa siirtyä keskieu-rooppalaiseen lähestymistapaan, jossa teknologian kehittyessä hankkeen reaaliaikaisen kustannuslaskennan suorittaisi hankkeessa mukana oleva arkkitehtitoimisto.

Tärkeänä näkökulmana esiin nostettiin myös osapuolten roolien sopimusoikeudelliset asiat. Osapuolien mahdollisesti muuttuviin roolijakoihin tulee kuitenkin vaikuttamaan vahvasti lainsäädäntö ja rakentamismääräykset, jotka toimivat skenaarion rajapintana. Jos ja kun tulevaisuudessa ilmenee ongelmatilanteita, tulee olla selvää, mikä hankkeen osapuoli on ollut vastuussa mistäkin ja mitkä ovat olleet osapuolten tehtävät hankkeen aikana. Tilaajan ja pääsuunnittelijan vastuut tulee pitää selkeinä eikä niiden tulkitsemista saa hämärtää. Tulevissa rakennusprojekteissa tulee edelleen olla selvillä urakka- ja suunnittelurajat, ja mikäli niihin tulee muutoksia, ne täytyy hoitaa sopimuksellisesti hankkeen kaikille osapuolille selkeästi.

Toisena mielenkiintoisena asiana käsiteltiin rakennushankkeen aikana liikkuvien dokumenttien ja visualisointimateriaalien immateriaalioikeuksia (IPR). Tulee olla selvää, kuka omistaa suunnitelmat ja kuka johtaa mitäkin vaihetta rakentamisen aikana. Haastateltavat näkevät, että dokumenttien immateriaalioikeuksista tulee varmasti jonkinlaista kiistaa tulevaisuudessa. Perinteisesti arkkitehtitoimistoilta ti-

latuissa pohjapiirroksissa, leikkauksissa, julkisivukuvissa ja joskus jopa visualisointikuvissakin on nimiöt, jotka sisältävät dokumenttien yksilöintitiedot ja tiedot suunnittelijasta ja kertovat dokumentin lukijalle, kenen omaisuutta dokumentit ovat. Tämän pohjalta yhdellä haastateltavista heräsi kysymys: Jos asiakas tilaa dokumenttiaineiston arkkitehtitoimistolta ja maksaa niistä, miten aineisto voi enää olla arkkitehtitoimiston omaisuutta?

Eräs haastateltavista uskoo, että tulevaisuudessa suunnitelmat tulevat olemaan maksajan omaisuutta, eikä siitä voida kiistellä. Tällä hetkellä periaatteessa arkkitehtitoimisto myy vain hallintaoikeuden dokumenteille, ei omistusoikeutta. Haastateltavan mukaan mahdollisten kiistatilanteiden määrä vähenisi huomattavasti, jos immateriaalioikeuksista tulisi olemaan selkeä lainmukainen dokumentti tällaisissa skenaarioissa. On kuitenkin vielä mahdotonta sanoa, mihin suuntaan roolit lähtevät muuttumaan ja miten ne heijastuvat rakennushankkeiden aikaisiin sopimuskäytäntöihin.



## 6 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

### 6.1 Visuaalinen suunnittelu

#### 6.1.1 Kokonaisuuden kartoittaminen

Rakennushankkeiden kulun keskeisiä tunnistettuja ongelmia ovat kaavoitus- ja suunnitteluprosessien vanhanaikaisuus, osapuolten ja loppukäyttäjien vaillainnen osallistaminen sekä kommunikaation ja viestinnän puutteellisuus. Rakennuksia rakennetaan niiden loppukäyttäjää varten ja isommassa mittakaavassa kaupungit suunnitellaan asukkaita varten. Sidosryhmien välisen vuorovaikutuksen tulisi olla tarkkaa ja selkeää, jotta väärinymmärryksiltä ja virheiltiltä säästyttäisiin.

Reaaliaikainen renderointi on ainakin suurimmilta osin ratkaisu näihin ongelmiin. Se tarjoaa mahdollisuuden tarkastella yksityiskohtaisia ja konkreettisia asioita rakennushankkeessa visuaalisesti ja tarjoaa alustan, jossa vuorovaikutus tapahtuu rakennuksen tietomallin ympärillä yhdessä paikassa. RTR:n käytön ymmärtäminen ja sen implementointi rakennushankkeisiin sekä yrityksen liiketoimintaan vaatii laajakatseisuutta: mitä rakennusalalla tapahtuu, mihin suuntaan se on menossa tulevaisuudessa ja millainen laadullinen sekä liiketoiminnallinen potentiaali sillä voi olla rakennusteollisuudessa.

RTR on uusi teknologia, joka tulee varmasti osaltaan muokkaamaan arkkitehtien ja suunnittelijoiden toimenkuvaa ja toimintatapoja tulevaisuudessa, mutta ei tule poistamaan niiden rooleja rakennushankkeissa tilan toiminnallisuuksien ja esteetiikan asiantuntijana. Visuaaliset virtuaalimallit toimivat olemassa olevien työtehtävien ja menetelmien lisätyökaluina ja virallisten dokumenttien tukena. Ne ovat vahvasti linkitettyjä rakennusten tietomalleihin, mutta on syytä ymmärtää, ettei teknologian käyttäminen itsessään välttämättä johda laadukkaaseen ja yhtenäiseen suunnitteluun.

Paradoksaalista sinänsä, RTR on tiedostettu olemassa olevana teknologiana rakennusteollisuudessa jo jonkun aikaa ja että sillä on mahdollisuus kehittää nykyistä rakennushankkeiden suunnitteluprosessia, mutta silti vielä tähän päivään

mennessä yllättävän harva on ottanut teknologiaa käyttöönsä. Rakennusalalla vallitsee tietynlainen ennakkoluuloisuus uusia toimintatapoja ja menetelmiä kohtaan, ennen kuin niistä on olemassa selkeää analytiikkaa ja статистиikkaa siitä, että uusi menetelmä varmasti toimii. Tämä on sinänsä ymmärrettävää, sillä rakennusalalla budjetit ovat suuria ja teknologian implementoinnin voidaan kokea tekevän ison loven yrityksen liiketoimintaan, mutta ellei rakennusalalla olisi yleisesti visi-onäärejä, monet nykyään hyväksi havaitut tehokkaat työmenetelmät olisivat jääneet ottamatta käyttöön.

### **6.1.2 Käyttökohteet ja soveltuvuus**

RTR:n tutkimukset ovat keskittyneet paljolti teknologian yksityiskohtiin ja toimintaperiaatteisiin. Teknologian käytöstä rakennushankkeissa on suhteellisen vähän informaatiota tutkimusten muodossa, joka on osaltaan varmasti vaikuttanut siihen, että RTR:n mahdollisuudet ja tulevaisuuden potentiaali voi olla epäselvää ja käyttöönotto odotettua hitaampaa. Globaalisti rakennusalalla on tästä huolimatta kuitenkin tehty oikeita peliliikkeitä ja lähdetty implementoimaan teknologiaa rakennushankkeisiin lupaavin tuloksien laadullisesti, kuin loppukäyttäjienkin näkökulmasta. Rakennushankkeissa reaaliaikaista renderointia ollaan hyödynnetty eniten suunnitteluvaiheissa, ja etenkin luonnossuunnittelussa. Sen on todettu säästävän kustannuksia, aikaa sekä vähentävän rakennushankkeen aikaisia riskejä. RTR:llä on merkittävä potentiaali ilmaista suunnitteluaikomuksia paremmin ja yksiselitteisemmin, sillä voi tehdä näyttäviä hanke-esittelyjä sidosryhmille, se voi toimia oivana keskusteluvälineenä projektihankinnassa sekä sillä voidaan tuottaa laadukasta visualisointimateriaalia markkinointiin tai myyntiin.

Reaaliaikaisen renderoinnin virtuaalimallilla on mahdollisuus vuorovaikuttaa paikkasitomattomasti sekä synkronisesti että asynkronisesti, mutta ominaisuus on vielä kehitteillä ja sen laadullisen kokemuksen povataan kehittyvän paljolti. Synkronisesti vuorovaikuttaminen voidaan toteuttaa esimerkiksi suunnitteluvaiheissa reaaliaikaisesti työpajojen muodossa ja vastaavasti asynkroninen vuorovaikuttaminen taas lähettämällä asiakkaalle tai hankkeen osapuolelle verkkolin-kin, jolla pääsee tarkastelemaan mallia ja kommentoimaan sitä kirjaamalla muistiinpanot ylös, jotka käydään suunnittelijan kanssa läpi myöhemmin.

Reaaliaikaisen renderoinnin käytön soveltuvuutta rakennushankkeissa voidaan ajatella myös rakentamisen aikaisiin vaiheisiin, mikäli jostain syystä aiemmin päätettyä suunnitelmaa ei voidakaan toteuttaa esimerkiksi tuotevalmistajien toimitusongelmien takia. Tällöin voitaisiin kokeilla muita vastaavia ratkaisuja sijoittamalla virtuaalimalliin vaihtoehtoisia komponentteja. Tällaisille skenaarioille on kuitenkin olemassa jo vastaavia ratkaisuja esimerkiksi lisätyn todellisuuden sovelluksilla, joten voidaan olettaa RTR:n käytön olevan tällaisissa tilanteissa varsin vähäistä. Jää nähtäväksi, miten teknologian ominaisuudet kehittyvät ja voidaanko esimerkiksi lisätyn todellisuuden ja reaaliaikaisen renderoinnin ominaisuuksia yhdistää toimivaksi sovellukseksi, jolloin teknologian piilevä potentiaali nousisi esiin ja sitä voitaisiin hyödyntää yhä suuremmissa määrin rakennushankkeissa.

RTR:n käyttö tulevaisuuden rakennushankkeissa visuaalisena suunnittelutyökätluna tulee olemaan absoluuttinen standardi. Sen käyttö yleistyy pikkuhiljaa, ja kun asiakkaat ja sidosryhmät näkevät erilaisten yritysten käyttävän teknologiaa ja havaitsevat sen potentiaalin suunnittelussa, he haluavat sen myös käyttöön omissa hankkeissaan. Teknologian käyttöä aletaan vaatia ja lähitulevaisuudessa sen käyttö rakennushankkeissa voidaan rinnastaa nykyiseen tietomallipohjaiseen suunnitteluun – sitä tullaan pitämään itsestäänselvyytenä. RTR:n potentiaali tulevaisuudessa linkittyy todennäköisesti enemmän erilaisten virheiden ja ongelmien havaitsemiseen esimerkiksi törmäystarkastelujen muodossa, mutta kun teknologia kehittyy, myös sen ominaisuudet ja suorituskyky kasvavat. Tämä voi luoda lisää käyttökohteita teknologialle, joten potentiaaliset käyttökohteet ovat rajattomat. On vaikea nähdä, ettei lisäpotentiaalia olisi tai että käyttö ei yleistyisi tulevaisuudessa.

### **6.1.3 Tulevaisuuden haasteet**

On selvää, että teknologia parantaa jo nyt hankkeen osapuolien ja loppukäyttäjien välistä kommunikaatiota, kun voidaan tuottaa laadukasta ja havainnollistavaa visuaalista materiaalia. Paikkasidonnaisuus poistuu ja kokouksia sekä palavereja voidaan yhä enemmän pitää etänä, jolloin logistiset kulut pienenevät ja aikaa säästyy. Toisaalta, mikäli teknologia jatkaa kehityskulkuaan samaan suun-

taan ja tilaisuudet muuttuvat yhä enemmän virtuaalisiksi, voiko siitä seurata tilanne, jolloin hankkeen osapuolet ja loppukäyttäjät eivät tapaa kasvokkain edes videopalaverin muodossa? Jos tällainen lähestymistapa on tulevaisuudessa mahdollinen, voidaan menettää luontaisia sosiaalisia taitoja, kun vuorovaikutaminen tapahtuu lähinnä vain virtuaalisesti. Emme välttämättä enää keskustele asioista, vaan luotamme tekoälyyn (AI, engl. artificial intelligence) ja teknologiaan, josta olemme siinä vaiheessa riippuvaisia. Tulisi osata varautua myös pitkäkestoisiin sähkökatkoksiin, jotka voivat olla mahdollisia.

Lisäksi nykypäivän trenditermiksi nousseet innovointi ja kustannustehokkuus voivat toimia itseään vastaan. Kun kompetenssi rakennusalalla on suurta ja koetaan jatkuvaa tarvetta kehittää yhä parempaa ja laadukkaampaa tuotetta käytettäväksi, voidaan ajatella, että olemme liian tehokkaita ja järjestäytyneitä. Tämä voi heijastua hankkeissa niin, että projektin aikana tapahtuvat inhimilliset erheet voidaan nähdä isoina ongelmina eikä välttämättä osata tuntea samalla tavalla empatiaa kuin aiemmin. Voidaan menettää niin sanotusti ihmisyyttämme – asioita, jotka ihmisistä tekee yksilöllisiä. Liiallinen tehokkuus voi pahimmillaan johtaa siihen, että rakennusprojektissa saatetaan jättää joitain työvaiheita tekemättä, joita ei pidetä tarpeellisina. Se voi ilmentyä hankkeiden aikana väärinymmärryksiä tai ymmärryksen puutteina projektin vaiheiden peruseriaatteissa. Hankkeelle voi aiheutua sen myötä paljon lisäkustannuksia tai se voi epäonnistua kokonaan.

Yleisesti minkä tahansa digitaalisen sovelluksen implementointi rakennushankkeeseen ei saa poistaa hankkeen osapuolien asiantuntevuutta eikä sen käyttäminen saa olla ainoa ratkaisu, millä työvaihe suoritetaan. On totta, että sovelluksia kehitetään rakennusalalla nopeuttamaan työkulkua ja toimimaan parempina kommunikaatiovälineinä suunnitelmien ymmärtämiselle. Sovellukset ja tekoäly voivat tarjota lukuisan määrän tärkeää statistiikkaa ja informaatiota, joilla voidaan esimerkiksi optimoida rakennuksen energiankulutusta tai pidentää kiinteistön käyttöikä. Tulee muistaa, että sovelluksien tarjoaman informaation ymmärtäminen vaatii perehtyneisyyttä alaan eikä statistiikkaan voida ikinä luottaa täysin, vaan ne toimivat muun informaation tukena. Fyysisiä rakentamisen taitoja ei tule unohtaa ja niiden rooli rakentamisessa on edelleen välttämätön.

Huolimatta teknologian mahdollisista haasteista sen tulevaisuus rakennusalalla on valoisa. Se voi ratkaista lukemattomia virheitä rakennushankkeissa, jotka voivat säästää paljon vaivaa ja rahaa rakennushankkeissa. Tutkimuksen empiirisen osion tulokset vastasivat suhteellisen hyvin tutkijan olettimiin mielikuviin teknologian hyödyistä. RTR:n kokonaisuus on laaja ja sen potentiaalin tunnistaminen tuo omat mahdollisuutensa ja haasteensa. Rakennusala on tietyissä RTR:n käyttökokonaisuuksissa edelläkävijä ja ottamalla tunnistettu potentiaali käyttöön sekä löytämällä uutta potentiaalia sillä on myös mahdollisuus pysyä sellaisena. Tulevaisuuden rakennushankkeiden prosessimalli ja hankkeiden osapuolien roolit tulevat kehittymään digitalisaation myötä ja RTR toimii silloin keskeisenä visuaalisointityökaluna tietomallipohjaisissa rakennushankkeissa.

## 6.2 Tutkimuksen arviointi

Validiteetti ja reliabiliteetti ovat empiirisen tutkimuksen luotettavuuden ja onnistumisen arvioinnin väyliä. Validiteetin eli pätevyyden tarkoituksena on osoittaa, kuinka hyvin valitut tutkimusmenetelmät soveltuivat kyseiseen mittaustarkoitukseen. Reliabiliteetilla eli luotettavuudella vastaavasti tarkoitetaan tutkimuksen toistettavuutta. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2007, 226.) Käsitteet ovat luotu kvantitatiivisen tutkimuksen arviointiin, mutta kvalitatiivisen tutkimuksen toteutuksen tarkalla kuvauksella sen luotettavuutta voidaan parantaa (Hirsjärvi ym. 2007).

Tutkimuksessa käytetyt menetelmät ja niiden toteutustapa on esitetty systemaattisesti, mutta avoimien ja puolistrukturoitujen haastattelumenetelmien käyttäminen vähentää tutkimuksen luotettavuutta. Tällaiset haastattelut ovat uniikkeja ja haastatteluiden kehittäjä ei välttämättä toteuttaisi uutta haastattelua enää samoin menetelmin. Lisäksi haastattelutilaisuuksissa useat asiat tapahtuvat spontaanisti aihealueiden ja keskustelun etenemisen seurauksena, jolloin niitä on vaikea jäljittää. Toinen tutkija voi käsittää alkuperäisen lähdeaineiston myös eri tavalla ja kuvailla sen haastatteluissa eroavasti, mikä vaikuttaa haastateltavien vastauksiin ja siten myös kerättyyn aineistoon.

Haastattelut soveltuvat teknologian käytön potentiaalin, tulevaisuuden näkymien ja nykytilan kartoittamiseen hyvin ja siltä osin tutkimusta voidaan pitää pätevänä.

Uudempaa teknologiaa on tulossa jatkuvasti markkinoille ja sen myötä tutkimus ja sen tulokset vanhenevat nopeasti, mutta tutkimus kartoittaa tämänhetkisen tilanteen ja voi antaa ohjaavia ideoita tulevaisuutta varten. Haastatteluja saatiin suoritettua eri osapuolien osalta suhteellisen laajasti, muttei niin laajasti kuin tutkija olisi halunnut.

Oli tärkeää saada reaaliaikaisen renderoinnin sovelluskehittäjät haastateltavaksi, koska heillä on suurin kokemus teknologian käytöstä ja sen potentiaalın ymmärtämisestä. Rakennusalan asiantuntijoilla ja yhteistyökumppaneilla oli hyvä käsitys teknologian implementoinnista tiettyihin rakennushankkeen vaiheisiin ja siihen, mitä sillä voidaan saavuttaa. Visualisointipalveluja tuottavien yritysten näkökulmat ja mielipiteet olisivat olleet tärkeitä RTR:n laadullisten ominaisuuksien ja niiden hyödyntämisen analysoimiseen, ja ne olisivat varmasti osaltaan muuttaneet joidenkin ratkaisujen tuloksia tai vastaavasti antaneet esiin nousseille ratkaisuille lisätukea.

Tutkimuksen haastatteluihin osallistuneet olivat pääasiassa orientoituneita nykytekniikkaan ja tiesivät teknologian olemassaolosta, mutta osa oli vain kuullut siitä eikä juurikaan tiennyt teknologian termistöä. Tämän takia haastatteluun osallistuneille lähetettiin haastattelukutsu ja kutsun yhteydessä kerrottiin, mistä on kyse ja sen lisäksi haastattelun alussa selvitettiin alkutietämystä aiheeseen liittyen. Tarvittaessa tutkija kertoi teknologiasta kaiken oleellisen, jotta osa haastateltavat osasivat vastata kysymykseen haastattelurungon puitteissa. Tuloksien soveltuvuuteen rakennusalalla tulee siis sen myötä suhtautua varauksella. Haastatteluaineistoa analysoitiin tarkasti ja ajatuksella, joten saadut tulokset tuskin muuttuivat muillakaan kerroilla. Tutkijan intressit teknologiaa kohtaan ja oma tausta voi vaikuttaa tutkimuksen toteuttamiseen sekä kokonaisuuteen ja täten vähentää tutkimuksen puolueettomuutta. Yleisesti ottaen tutkimusta voidaan silti pitää onnistuneena, koska RTR:lle löydettiin useita käyttökohteita rakennushankkeen aikana ja tutkimuskysymyksiin saatiin vastattua.

RTR-teknologia ulottuu laajalti peliteollisuuden puolelle ja nykyään osaltaan myös rakennushankkeiden suunnitteluvaiheisiin. Käsité tuntuu kuitenkin osin vaikeaselkoiselta sen moniselitteisyytensä takia. Teknologian käytölle rakennushankkeen suunnitteluvaiheissa ei ole tieteellisissä teksteissä tai artikkeleissa

määritetty virallista käsitettä, joten tutkija on nimennyt sen itse tämän tutkimuksen pohjalta reaaliaikaiseksi visuaaliseksi suunnitteluksi (RVD, engl. real-time visual design).

### 6.3 Jatkotutkimukset

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää RTR-tekniikan potentiaalisia käyttökohteita rakennushankkeissa ja kuinka se voi muuttaa rakennushankkeen suunnitteluprosessia. Tavoite saavutettiin, ja useat yritykset tiesivät, millaiset ratkaisut toimivat tekniikan suhteen heidän rakennushankkeissaan. Tulevaisuuden käyttökohteet ovat luonnollisesti spekulatioita, joten kenelläkään ei voi olla täyttä varmuutta, mihin suuntaan rakennusalan digitalisaatiossa mennään ja miten potentiaaliset käyttöskenaariot ja osapuolien roolit voivat muuttua. Voidaan vain tehdä arvauksia. Esille tulleita käyttökohteita tulevaisuuden varalle on kuitenkin useita ja seuraava vaihe on niiden tarkempi analysointi yritysten toiminnassa.

Ei ole väärää vastausta sille, millaista menetelmää tulisi käyttää ratkaisujen lähestymiselle. Joitakin potentiaalisia tutkimuskohteita ovat käyttökohteiden ja itse tekniikan käytön arvontuotto. Voiko tuotto syntyä olemassa olevien suunnitteluprosessien nopeutumisesta vai kustannusten vähentymisestä laadukkaana visuaalisen virtuaalimallin myötä? Väheneekö suunnitteluvirheiden määrä riittävän merkittävästi selkeämmän kommunikation takia, jolla voidaan tehdä isoja säästöjä? Tulevaisuudessa tulisi kartoittaa tuottoon vaikuttavat tekijät ja niiden vaikutukset. Uusia ideoita potentiaalisille tutkimuskulmille syntyy varmasti tulevaisuudessa, kun tekniikka yleistyy rakennusalalla sekä tekniikka ja suorituskyky mahdollistaa yhä kompleksisempien lähestymistapojen ja ratkaisujen julkaisemisen markkinoille.

## LÄHTEET

Akenine-Möller, T., Haines, E. & Hoffman, N. 2018. Real-Time Rendering, Fourth Edition. 4. painos. Yhdysvallat: CRC Press.

ArchDaily. 2018. How Real-Time Rendering Can Revolutionize Design – Again. Blogikirjoitus/verkkoartikkeli. Viitattu 11.4.2020.  
<https://www.archdaily.com/892210/how-real-time-rendering-can-revolutionize-design-again>

ArchDaily. 2020. Trends in Real-Time Rendering. Sponsoroitu verkkoartikkeli. Viitattu 9.4.2020.  
<https://www.archdaily.com/903847/trends-in-real-time-rendering>

Avasthy, T. 2018. Real-Time Rendering Solutions: Unlocking The Power Of Now. Forrester-markkinatutkimusraportti. Viitattu 9.4.2020.  
[https://cdn2.unrealengine.com/Unreal+Engine%2Fresources%2FEpic-Games-Real-Time-Rendering-TLP\\_post-production\\_R3-2f4769b9b2ad-fca45af876c2f701f65ec6ef1228.pdf](https://cdn2.unrealengine.com/Unreal+Engine%2Fresources%2FEpic-Games-Real-Time-Rendering-TLP_post-production_R3-2f4769b9b2ad-fca45af876c2f701f65ec6ef1228.pdf)

Azhar, S., Carlton, W. A., Olsen, D. & Ahmad, I. 2011. Building information modeling for sustainable design and LEED® rating analysis. *Automation in Construction* 20, 217-224.

Becerik-Gerber, B. & Kensek, K. 2010. Building Information Modeling in Architecture, Engineering and Construction: Emerging Research Directions and Trends. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice* 136(3), 139-147.

Borrmann, A., König, M., Koch, C. & Beetz, J. 2018. *Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice*. Springer International Publishing.

Bouchlaghem, D., Shang, H., Whyte, J. & Ganah, A. 2005. Visualisation in architecture, engineering and construction (AEC). *Automation in Construction* 14(3), 287-295.

Bullinger, H-J., Bauer, W., Wenzel, G. & Black, R. 2010. Towards user centered design (UCD) in architecture based on immersive virtual environments. *Computer in industry* 61, 372-379.

Cohen-Or, D., Chrystanthou, Y., Silva, C. T. & Durand, F. 2003. A Survey of Visibility for Walkthrough Applications. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 9(3), 412-431.

Collins Dictionary. 2014. *Virtual Reality*. Collins English Dictionary – Complete & Unabridged 10th Edition.

Davies, R. & Harty, C. 2013. Implementing 'Site BIM': A case study of ICT innovation on a large hospital project. *Automation in Construction* 30, 15-24.



Davis, P. 2011. Introducing Autodesk Revit Architecture 2012. 1. Painos. Sybex.

Dubler, C. R., Messner, J. I. & Anumba, C. J. 2010. Using Lean Theory to Identify Waste Associated with Information Exchanges on a Building Project. Construction Research Congress 2010.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. & Liston, K. 2011. BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. 2. painos. Chichester, Yhdistynyt kuningaskunta: John Wiley & Sons Ltd.

Easy Render. 2019. What Performance Specs Should Your PC Have to Handle 3D Rendering. Verkkoartikkeli. Luettu 9.4.2020.

<https://www.easyrender.com/3d-rendering/what-performance-specs-should-your-pc-have-to-handle-3d-rendering>

Enscape (Kuva 8). N.d. Panorama & Cardboard. Verkkoartikkeli. Luettu 4.4.2020.

<https://enscape3d.com/community/blog/knowledgebase/panorama-cardboard/>

Enscape. 2020. System Requirements. Verkkoartikkeli. Luettu 9.4.2020.

<https://enscape3d.com/community/blog/knowledgebase/system-requirements/>

Enscape. Kuva 18, Verkkojulkaisu. Viitattu 11.4.2020.

[https://wp-cdn.enscape3d.com/wp-content/uploads/2020/02/BIM\\_selected-e1581942054536.jpg?x35129](https://wp-cdn.enscape3d.com/wp-content/uploads/2020/02/BIM_selected-e1581942054536.jpg?x35129)

European BIM Summit. 2020. Verkkoartikkeli. Luettu 28.3.2020.

<https://europeanbimsummit.com/en/video-ebs-day-bim-for-developers-and-builders-their-fundamental-role-in-the-bim-process/>

Evers, N. 2017. Teollisuusilmanvaihdon suunnittelun toteutus Revit-tietomalliohjelmistolla. Talotekniikan tutkinto-ohjelma. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Fernandes, E. 2019. Enscape Showcase -verkkojulkaisu. Visualisointikuva. (Kuva 12A). Viitattu 11.4.2020.

<https://enscape3d.com/showcase/>

Fredy, R. N.d. Behance-verkkosivusto. Unreal Engine 4 – Archviz Interior. Viitattu 11.4.2020.

<https://www.behance.net/gallery/69693047/Unreal-Engine-4-Archviz-Interior>

Freese, S., Penttilä, H. & Rajala, M. 2007. Verkkoartikkeli. Luettu 28.3.2020.

[http://arkit.tkk.fi/senaatti/images/070115\\_senaatti\\_esitys.pdf](http://arkit.tkk.fi/senaatti/images/070115_senaatti_esitys.pdf)

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2007. Tutki ja kirjoita. 13. osin uudistettu painos. Helsinki: Tammi.

Hungu, C. 2013. Utilization of BIM from Early Design Stage to facilitate efficient FM Operations. Department of Civil and Environmental Engineering. Division of Construction Management. Chalmers University of Technology. Master's Thesis.

Johansson, M., Roupé, M. & Bosch-Sijtsema, P. 2015. Real-time visualization of building information models (BIM). *Automation in Construction* 54.

Junnonen, J-M. & Kankainen, J. 2017. *Rakennuttaminen*. 5. uudistettu painos. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Järvenpää, E. 2006. Laadullinen tutkimus. Tuotantotalouden osasto. Teknillinen korkeakoulu. SoberIT jatko-opintoseminaari. Viitattu 5.4.2020.  
<http://www.cs.tut.fi/~ihtesem/k2007/materiaali/luento4.pdf>

Kaivonen, J-A. 1994. *Rakennusten korjaustekniikka ja talous*. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Kautonen, N. 2019. Syksyinen visualisointikuva rakennushankkeesta -visualisointikuva (Kuva 6).

Kautonen, N. 2020. Visualisointikuvat (Kuvat 7 ja 19), sekä valokuva (Kuva 17).

Kivelä, J. 2013. Tiedon havainnollistaminen osana tietomallintavaa rakennushanketta. Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulu. Arkkitehtuurin laitos. Rakennussuunnittelu A-9. Aalto-yliopisto. Diplomityö.

Kohtamäki, T. N.d. Digitalisaatio tarjoaa työkaluja rakennusalalle. Blogikirjoitus/verkkoartikkeli. Viitattu 20.4.2020.  
<https://www.ril.fi/fi/rakennustekniikka/puheenjohtajan-blogi-digitalisaatio-tarjoaa-tyokaluja-rakennusalalle.html>

Kosara, R. 2008. What is Visualization? A Definition. Verkkoartikkeli. Luettu 2.4.2020.  
<https://eagereyes.org/criticism/definition-of-visualization>

Kubba, S. 2012. *Handbook of Green Building Design and Construction: LEED, BREEAM and Green Globes*. 1. painos. Yhdistynyt kuningaskunta, Oxford: Butterworth-Heinemann.

Lehtinen, T. 2012. *Increasing Integration in Construction Projects: A Case Study on a PPP Project Adopting BIM, eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction*. Yhdistynyt kuningaskunta: CRC Press, 439-446.

Lie, A. N.d. Modern Concrete Living Room -visualisointikuva. Verkkodokumentti. Viitattu 11.4.2020.  
<https://i.pinimg.com/originals/aa/fc/b6/aafcb6d1316c0287ad16b7b1a66e2661.jpg>

Meadati, P. 2009. *BIM extension into Later Stages of Project Life Cycle*. Southern Polytechnic State University. Marietta, Georgia.

Mihindu, S. & Arayici, Y., 2008. Digital Construction through BIM Systems will Drive the Re-engineering of Construction Business Practices. School of Built Environment. University of Salford, Yhdistynyt kuningaskunta.

Mittal, S. 2018. A Survey of FPGA-based Accelerators for Convolutional Neural Networks. Neural Computing and Applications.

Määttä, S. 2010. Arkkitehtuurin visualisoinnista. Blogikirjoitus 24.5.2010. Arkkitehtitoimisto Eero Korhonen Oy. Viitattu 3.4.2020.

Orwin, S. 2017. Why architects use architectural visualisation. Verkkoartikkeli. Luettu 3.4.2020.

<https://bsbgroup.com/blog/why-architects-use-architectural-visualisation>

Paakki, A. 2010. Tietomallintamisen hyödyntäminen rakennusliikkeessä. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Vaasan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Paavola, S., Kerosuo, H., Mäki, T., Korpela, J. & Miettinen, R. 2012. BIM Technologies and collaboration in a life-cycle project. Yhdistynyt kuningaskunta, Lontoo: CRC Press.

Penttilä, H., Nissinen, S. & Niemioja, S. 2006. Tuotemallintaminen rakennushankkeessa, yleiset periaatteet. Helsinki: Rakennustieto Oy. Tammer-Paino Oy.

Pharr, M., Wenzel, J. & Humphreys, G. 2017. Physically Based Rendering: From Theory to Implementation. 3. painos. Yhdysvallat: Morgan Kaufmann Publishers.

Plume, J. & Mitchell, J. 2007. Collaborative design using a shared IFC building model – Learning from experience. Automation in Construction 16, 28-36.

Portman, M. E., Natapov, A. & Fisher-Gewirtzman, D. 2015. To go where no man has gone before: Virtual reality in architecture, landscape architecture and environmental planning. Faculty of Architecture & Town Planning. Technion-Israel Institute of Technology, Israel.

Pryke, S. 2017. Managing Networks in Project-Based Organisations. Hoboken, Yhdysvallat: Wiley.

Romo, I. 2003. PRO IT: Tuotemallitieto rakennusprosessissa. Verkkodokumentti. Luettu 3.4.2020.

<http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/proit/>

Rouse, M. 2016. Definition: 360-degree photograph. Verkkoartikkeli. Luettu 4.4.2020.

<https://whatis.techtarget.com/definition/360-degree-photograph>

SaaS-alusta, Dragon1. 2020. Architecture Visualization Definition. Verkkoartikkeli. Luettu 2.4.2020.

<https://www.dragon1.com/terms/architecture-visualization-definition>

Saunders, M., Lewis, P. & Thornhill, A. 2009. Research Methods for Business Students. 5. painos. Pearson, New York.

Spotworks. 2019. Understand What is Real Time Rendering in 2 Minutes. Luettu 5.4.2020.

<https://spotworks.com.sg/3d-rendering/what-is-real-time-rendering/>

Steel, J., Drogemuller, R. & Toth, B. 2012. Model interoperability in building information modelling. Software and Systems Modeling 11(1), 99-109.

Svidt, K. & Christiansson, P. 2008. Requirements on 3D Building Information Models and Electronic Communication: Experiences from an Architectural Competition. CIB W78 25th International Conference on Information Technology: Improving the Management of Construction Projects Through IT Adoption. Universidad de Talca, Chile, 231-238.

Thagard, P. & Shelley, C. 1997. Abductive reasoning: Logic, visual thinking and coherence. Philosophy Department. University of Waterloo.

Tiitto, L. 2015. Rakennuspiirustuksista valokuvamaiseen mainoskuvaan. Visuaaliset ratkaisut Blender 3D-mallinnusohjelman avulla toteutetussa pientalon visualisoinnissa. Kuvataiteen koulutusohjelma. Lapin ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Unity Forum. 2015. Verkkójulkaisu. Visualisointikuva. JeyDia (Kuva 12B). Viitattu 11.4.2020.

<https://forum.unity.com/threads/archviz-the-loft-by-jeydia.360294/>

Walasek, D. & Barszcz, A. 2017. Analysis of the adoption rate of Building Information Modeling [BIM] and its Return on Investment [ROI]. Faculty of Civil Engineering. Warsaw University of Technology. Luettu 3.4.2020.

[https://www.researchgate.net/publication/315359204\\_Analysis\\_of\\_the\\_Adoption\\_Rate\\_of\\_Building\\_Information\\_Modeling\\_BIM\\_and\\_its\\_Return\\_on\\_Investment\\_ROI](https://www.researchgate.net/publication/315359204_Analysis_of_the_Adoption_Rate_of_Building_Information_Modeling_BIM_and_its_Return_on_Investment_ROI)

Van Nederveen, G.A., Tolman, F.P. 1992. Modelling Multiple Views on Buildings. Automation in Construction 1, 215-224.

Wieldraayer, J. N.d. 3D-model or 3D BIM-model -verkkoblogi. Luettu 28.3.2020.

<https://www.bim4all.com/en/blog/3d-model-of-3d-bim-model>

Virtualizing Architecture. 2019. 3 Reasons why 360 panorama views are a big trend. Blogikirjoitus. Viitattu 4.4.2020.

<http://virtualizingarchitecture.com/3-reasons-why-360-panorama-views-are-a-big-trend/>

VRender. 2015. What is Architectural visualization. Verkkootikkeli. Luettu 2.4.2020.

<https://vrender.com/what-is-architectural-visualization/>

Vysotskiy, A., Makarov, S., Zolotova, J. & Tuchkevich, E. 2015. Features of BIM Implementation Using Autodesk Software. St. Petersburg State Polytechnical University. Luettu 28.3.2020.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815019025>

## LIITTEET

Liite 1. 360 asteen panoraamakuva

Liikuteltavaan 360° kuvaan [tästä](#). (Kuva 9)

Liite 2. Haastattelurunko

Kysytään ensin kysymys, jolla kartoitetaan RTR-tekniikan tietämyksen lähtö- tai nykytaso:

Kuinka tuttu reaaliaikainen renderointi on teille käsitteenä ja teknologiana?

Tietämyksen selvittämisen ja termistön avaamisen jälkeen siirrytään haastattelukysymyksiin.

1. Oletteko päässeet hyödyntämään reaaliaikaista renderointia jossain muodossa?
2. Reaaliaikainen renderointi on ollut peliteollisuudessa mukana ja vuosikymmeniä – mistä voisi johtua, että rakennusteollisuus, varsinkin arkkitehtitoimistot ovat alkaneet hyödyntämään teknologiaa vasta hetki sitten?
3. Mitkä ovat reaaliaikaisen renderoinnin yleisimmät käyttökohteet?
  - a. Onko tässä yleensä ollut kyse ennako- tai loppumarkkinointimateriaalin tuottamisesta?
  - b. Minkälaisia ajatuksia teknologian käyttö rakennushankkeissa herättää?
4. Onko olemassa käyttötapauksia, joissa RTR:ää on hyödynnetty esimerkiksi työpajojen muodossa hankekehitysvaiheessa?
  - a. Millaisista käyttötapauksista on ollut kyse? Kuinka monta niitä on ollut?
  - b. Millaisia hyötyjä käyttötapauksissa on havaittu?
  - c. Millaisia haasteita ne ovat aiheuttaneet?

5. Minkälaisia visioita teillä on erilaisista käyttötapauksista ja teknologian mahdollisuuksista?
6. Mikä voisi olla reaaliaikaisen renderoinnin tulevaisuuden rooli rakentamisessa?
  - a. Kuinka iso vaikutus teknologian kehittymisellä on uusien käyttökohteiden syntymiselle?
  - b. Onko teknologialla potentiaalia hyödynnettävissä, mikä ei ole vielä noussut esiin?
  - c. Voiko teknologian yleistymiselle tulla haasteita?
  - d. Voiko tavanomaisen rakennushankkeen kulku muuttua teknologian hyödyntämisen pohjalta?
  - e. Voiko rakennushankkeen osapuolien roolit muuttua tulevaisuudessa?
  - f. Millaisena koette yleiset asenteet ja mielipiteet teknologiaa kohtaan?

### Liite 3. Haastattelukutsu

Hei,

olen Niko Kautonen ja työskentelen Suomen Aluerakennuttaja Oy:lla hankekehitysarkkitehtiopiskelijana sekä visualisoijana. Opiskelen rakennusarkkitehdiksi ja valmistun tänä keväänä ammattiini. Nyt olen tekemässä lopputyötäni, joka käsittelee reaaliaikaisen visuaalisen suunnittelun hyödyntämistä rakennushankkeen eri vaiheissa.

Reaaliaikaisella renderointimallilla tarkoitetaan visuaalista havainnointimallia, joka luodaan mallinnusohjelman liitännäisellä. Tämä eroaa perinteisestä visualisointitavasta siten, että päivitykset mallissa synkronoituvat automaattisesti visuaaliseen ympäristöön. Malliin pääsee myös Virtual Reality (VR) -laseilla, joiden avulla tavallinen mallin näkeminen muuttuu mallin kokemiseksi.

Aikaisempi tietämys aiheesta ei ole tarpeellista, sillä ennen haastattelua käsitteistö käydään läpi. Tarkoituksena on kartoittaa ja hakea vaihtoehtoisia näkemyksiä siitä, missä sekä miten reaaliaikaista visuaalista suunnittelua voitaisiin käyttää ja mitkä ovat sen tulevaisuuden näkymät.

Tutkimuksen empiirinen osuus toteutetaan haastatteluiden avulla. Tarkoituksena on selvittää teknologian hyödyntämiskohteita vastaamalla tutkimuskysymyksiin:

1. Mitkä ovat reaaliaikaisen visuaalisen suunnittelun käyttökohteet?
2. Mitkä ovat teknologian mahdolliset hyödyt/haitat?
3. Millaisena teknologian tulevaisuus nähdään?

Mikäli teille sopii, haastattelu nauhoitettaisiin, jotta sen sisältämää aineistoa voitaisiin käyttää ja analysoida mahdollisimman tarkasti opinnäytetyössä. Jos haastattelu sopii teille, niin toivoisin, että voisitte ehdottaa 2-3 vaihtoehtoista ajankohdtaa ~30 min haastattelulle maaliskuussa.

Haastattelun tulokset tullaan julkaisemaan opinnäytetyön muodossa ja työ lähetetään kaikille haastatteluun osallistuneille.

Lämpimät kiitokset ajastanne ja vaivannäöstänne jo etukäteen!

Niko Kautonen

4. vuoden rakennusarkkitehtiopiskelija, Tampereen ammattikorkeakoulu