

Opinnäytetyö (AMK)

Tieto- ja viestintäteknikka

2019

Lari Muuriaisniemi

RAKENNUSSUUNNITTELU VIRTUAALITODELLISUUDESSA

– operaatiohuoneen suunnittelutyökalu

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Tieto- ja viestintäteknikka

2019 | 27 sivua

Ohjaaja: yliopettaja Mika Luimula, dos.

Lari Muuriaisniemi

RAKENNUSSUUNNITTELU VIRTUAALITODELLISUUDESSA

- operaatiohuoneen suunnitteluohjelma

Operaatiohuoneita rakentaessa aikaa ja rahaa kuluu runsaasti huoneen suunnitteluvaiheessa. Laiteasettelujen luominen laitevalmistajien omilla työkaluilla ja erityisesti fyysisillä malleilla vie paljon aikaa ja hahmotelman siirtämisessä BIM-malliin kuluu jopa kymmeniä tunteja.

Opinnäytetyö tutkii virtuaalitodellisuuden soveltuvuutta operaatiohuoneen suunnittelutyökaluna ja eri menetelmiä nopeuttamaan BIM-mallinluontiprosessia. Aluksi tutustuttiin, mitä ovat virtuaalitodellisuus ja rakennuksen tietomalli. Suunnitteluohjelman toteutusta varten etsittiin ja vertailtiin sopivia kolmannen osapuolen työkaluja datan tuomiseen ja viemiseen suunnitteluohjelman ja BIM-mallin välillä.

Medroom on turkulaisen Ade Oy:n kehittämä operaatiohuoneen suunnitteluohjelma. Operaatiohuoneen suunnittelutyökalun nykyinen versio esiteltiin ja sitä vertailtiin muihin suunnittelumenetelmiin. Jatkokehitystä varten tutkittiin tarkemmin eri menetelmiä ja kolmannen osapuolen lisäosia datan vientiin ja laiteasettelun luomiseen virtuaalitodellisuudessa. Lopuksi valittiin lupaavimmat menetelmät ja työkalut, joita voidaan tulevaisuudessa soveltaa luodessa optimaalinen operaatiohuoneen suunnittelutyökalu.

ASIASANAT:

Virtuaalitodellisuus, Unity, rakennussuunnittelu, BIM

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Information and Communications Technology

2019 | 27 pages

Supervisor: Principal Lecturer Mika Luimula, Adj.Prof.

Lari Muuriaisniemi

BUILDING DESIGN IN VIRTUAL REALITY

- application for designing operation rooms

While building an operation room a great part of the time is spent while designing the room. It takes a lot of time to design the device layout with machine manufacturer's own tools, and especially when using physical models. Transferring the layout to a BIM-model can take even tens of hours.

The thesis explores virtualreality's suitability as an instrument to design an operation room and various solutions to speed up the process of creating a BIM-model. At the beginning virtual reality and building information model were introduced. Third party tools for transferring data between the design software and a BIM-model were compared for creating the application.

Medroom is an application for designing operation rooms developed by Ade Oy from Turku. The current version of the application for designing operation rooms was introduced and it was compared to other designing methods. Various methods and third party tools for exporting data and creating device layout in virtual reality were explored further. Finally the most promising methods and tools were picked that can be used in the future when creating an optimal application for designing operation rooms.

KEYWORDS:

Virtual reality, Unity, building design, BIM

SISÄLTÖ

SISÄLLYS

KÄYTETYT LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	7
2 VIRTUAALITODELLISUUS	9
2.1 Virtuaalitodellisuus	9
2.2 Lisätytodellisuus	9
2.3 Historia	10
2.4 VR-laitteet	10
2.5 VR:n käyttökohteet	11
2.6 VR rakennussuunnittelussa	12
3 RAKENNUKSEN TIETOMALLI (BIM)	13
4 OHJELMISTOT JA TYÖKALUT	15
4.1 Pelimoottori	15
MEDROOM	19
4.2 BIM-malli ja datan siirto	20
5 LOPUKSI	23
LÄHTEET	26

KUVAT

Kuva 1 Pokemon Go julkaistiin vuonna 2016 (Nintendo 2016).	9
Kuva 2 Holmesin stereoskooppi	10
Kuva 3 Rakennuksen elinkaaren päävaiheet (Aproplan 2017).	13
Kuva 4 Vasemmassa kuvassa putket menevät ilmanvaihtokanavan läpi ja virhe on korjattava heti. Oikean kuvan virhe ei ole kriittinen ja voi odottaa korjausta (Dyer 2017).	14
Kuva 5 Blizzard Entertainmentin julkaisema Unity-pohjainen korttipeli: Hearthstone.	15
Kuva 6 VRTK_Pointer lisää laserosoittimen VR:ään, jolla voidaan muun muassa teleportata ja painaa nappeja.	17
Kuva 7 Kuvauslaite ja leikkauspöytä. Oikeassa yläkulmassa tallennus- ja lataustoiminnot.	19
Kuva 8 Ylänäkymässä voidaan siirrellä laitteita tarttumalla kiinni vihreisiin laatikoihin.	20

KÄYTETYT LYHENTEET

AR	lisättytodellisuus (augmented reality)
BIM	rakennuksen tietomalli (building information model)
IFC	rakennusalan standardi (industry foundation classes)
LVI	lämpö, vesi ja ilmanvaihto
MEP	mechanical, electrical, and plumbing
Revit macro	työntekoa nopeuttava ja helpottava koodin pätkä
SVG	vektorikuvien tiedostomuoto (scalable vector graphics)
UI	käyttöliittymä (user interface)
VR	virtuaalitodellisuus (virtual reality)
VRTK	virtual reality toolkit (https://www.vrtk.io/)

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella VR:n soveltuvuutta rakennussuunnittelun työkaluna ja etsiä menetelmiä datan tuomiseen suunnitteluohjelmaan ja viemiseen suunnitteluohjelmasta BIM-mallinnusohjelmaan.

Kolmannen osapuolen pelimoottoreilla ohjelmistoja kehitettäessä on olennainen osa tuntea, mitä valmiita ratkaisuja ja resursseja on saatavilla. Kolmannen osapuolen lisäosat nopeuttavat kehitystä ja ovat usein halvempia ja parempia verrattuna siihen, jos alkaisi itse tekemään alusta.

BIM (rakennuksen tietomalli) ja VR (virtuaalitodellisuus) ovat suhteellisen uusia käsitteitä ja ne kehittyvät kovaa vauhtia. Unityssa on jo saatavilla paljon työkaluja VR-sovelluksen luomiseen, mutta valikoima BIM-lisäosista on hyvin suppea. Erityisesti BIM-datan vientiin ei juuri ole olemassa valmiita menetelmiä, mutta mallien tuomiseen on olemassa muutamia vaihtoehtoja.

Opinnäytetyö tehdään turkulaiselle Ade Oy:lle operaatiohuoneen suunnittelutyökalun pohjalta. Ade tuottaa muun muassa VR-koulutusjärjestelmiä ja simulaattoreita oppilaitoksille sekä rakennusteollisuuden että terveydenhuollon käyttöön. Päivitettyä suunnittelutyökalua ilmeni tarve suunnitelman tallentamiselle ja datan viemiselle BIM-malliin. Datan tuonti- ja vientimenetelmien sekä muiden jatkokehitysratkaisujen suunnittelu tapahtui osana opinnäytetyötä.

Aden Medroom on virtuaalitodellisuudessa toimiva tilasuunnittelutyökalu. Suunnitteluohjelma helpottaa hahmottamaan leikkaussalin laitteiden asettelua ja käyttäjä pystyy heti kokeilemaan virtuaalitodellisuudessa, miltä asetelma näyttäisi ja tuntuisi käytännössä. Ohjelman avulla voidaan antaa asiakkaan itse asetella ja muokata laitteita haluamallaan tavalla. Aiemmin operaatiohuoneita on suunniteltu tekemällä pahvi- ja vanerimalleja, ja jotkin laitevalmistajat tarjoavat omia suunnittelutyökaluja. BIM-mallien editointiin tullaan edelleen tarvitsemaan siihen tarkoitettuja ohjelmia, mutta työkalun tarkoituksena on antaa asiakkaan vaikuttaa paremmin huoneen suunnitteluun ja helpottaa suunnitelman siirtämistä BIM-malliin.

Opinnäytetyö alkaa tarkastelemalla VR:n historiaa, vertailemalla eri VR-laitteita ja tutkimalla miten VR:ää on aiemmin sovellettu rakennussuunnittelussa. Rakennussuunnittelun osalta selvitetään, mitä on BIM ja käymällä läpi BIM-mallinnuksen olennaiset osat

opinnäytetyön kannalta. Datan siirtoa varten vertaillaan kolmannen osapuolen lisäosien toiminnallisuuksia ja vertailun pohjalta valitaan parhaat ehdokkaat Medroomin jatkokehitystä varten. Valittujen työkalujen lisäksi on suunniteltava menetelmät ohjelmiston puuttuvien toiminnallisuuksien luomiseen.

VR:n soveltuvuutta on tutkittu aiemmin opinnäytetöissä muun muassa sisustussuunnittelussa (Perälä 2017) ja rakennusesittelyssä (Manninen 2017). VR:n soveltuvuudesta on myös tehty tutkimuksia esimerkiksi yleisemmin rakennetussa ympäristössä (Whyte & Nikolić 2018). ARQVR (ARQVR 2019) ja IrisVR (IrisVR 2019) ovat kehittäneet ratkaisuja BIM-malliin avaamiseen valmiissa sovelluksessa. Vaikka datan vientiratkaisuja erityisesti BIM-malliin ei ole helposti saatavilla, 3D talo Finland on kehittänyt ratkaisun VR:ssä muokatun suunnitelman viemiseen (3D talo Finland 2019).

2 VIRTUAALITODELLISUUS

2.1 Virtuaalitodellisuus

Virtuaalitodellisuus eli VR (engl. Virtual Reality) tarkoittaa tietokoneella simuloitua ympäristöä, joka ympäröi käyttäjän keinotekoisella todellisuudella. Illuusio luodaan pääosin näkö ja kuuloaistin avulla VR-laseilla ja kuulokkeilla. Muita simuloitavia aisteja ovat tunto ja hajuaisti. (Marxent 2019.)

2.2 Lisättytodellisuus

Lisättyllä todellisuudella (engl. Augmented Reality) tarkoitetaan näkymää todellisesta maailmasta, johon on lisätty tietokoneella generoituja elementtejä. AR voi esimerkiksi pitää sisällään kuvaa ja ääntä, jotka reagoivat reaaliajassa ympäristöön. (Interaction design foundation 2019.)

Mahdollisesti tunnetuin esimerkki AR:stä on Nianticin Pokemon Go, joka julkaistiin vuonna 2016. Pokemon Go saavutti muutamassa kuukaudessa jopa yli 500 miljoonaa latauskertaa. (Aamulehti 2016.)



Kuva 1 Pokemon Go julkaistiin vuonna 2016 (Nintendo 2016).

2.3 Historia

VR:n syntyjuuret periytyvät 1800-luvun puoliväliin, jolloin stereoskooppiset valokuvat alkoivat kasvattaa suosiotaan. Ensimmäiset stereoskoopit muistuttivat ulkonäöltään moderneja VR-laseja. (Department of the Arts 2019.)



Kuva 2 Holmesin stereoskooppi

Ensimmäiset päähän laitettavat VR-lasit patentoitiin 1960. Lasien ominaisuuksiin kuuluivat stereokuva ja -ääni. Vuonna 1987 Jaron Lamier yleistä termin "virtuaalitodellisuus", mitä ennen tutkimusalalla ei ollut virallista nimitystä. (Virtual Reality Society 2017.)

Ensimmäiset menestyksekkäät VR-lasit tulivat markkinoille 2010-luvulla useiden epäonnistuneiden prototyyppien ja pelikonsolien jälkeen, kun Oculus VR:n Rift-virtuaalilasit aloittivat joukkorahoituksen vuonna 2012. (Kickstarter 2012.)

VR-lasit tulivat laajemmin kuluttajien saataville 28.3.2016, jolloin Oculus Rift -lasit julkaistiin virallisesti. Pian tämän jälkeen HTC julkaisi oman kilpailevan tuotteen HTC Viven 5.4.2016. (Rajala 2016.)

2.4 VR-laitteet

Yleisimpiä VR-laitteita PC:lle ovat HTC Vive ja Oculus Rift. Eniten VR-laitteita kuitenkin toimittaa Sony, jotka ovat PS4-konsolille. (Statista 2019.) Yrityksiä varten on myös korkearesoluutioisempia vaihtoehtoja kuten Varjo VR-2.

VR:n suuri suosion kasvu tulee todennäköisesti kiinnittämään muidenkin suurten teknologia-alanyritysten huomion. Yksi markkinoille astuvista uusista VR-laitteista on Valve Index. (Steam 2019.) Valve on tähän mennessä tehnyt yhteistyötä HTC:n kanssa Viven kehityksessä (Engadget 2016).

VR-tuotteita tehdessä on olennaista käytön mukavuus (Hudelson 2019). VR:ssä vuorovaikuttamiseen on useita eri tapoja, joista yksi yleisimmistä on perinteiset peliohjaimet. (Starkey 2019.) HTC Vivelte kehitettäessä käyttäjä näkee useimmiten ohjaimen mallin VR:ssä, johon voi liittää ohjeet ohjaimen käyttö varten ja kosketukset näkyvät ohjaimessa. Oculus Touch -ohjaimille suositellaan taas käsien malleja, koska Oculus Touch pyrkii siihen, että ohjain välittää mahdollisimman helposti käyttäjän käden ja sormien asennon (Oculus developers 2019). Jos esimerkiksi halutaan nostaa esine lattialta, Vivellä toiminto liitetään usein joko liipaisimeen tai ”grip”-näppäimiin kun taas Oculusilla käyttäjä puristaa niiden sormien näppäimiä mitä yleensä käyttäisi nostaakseen esineen. Nappien painamisessa Vivellä on suotavaa käyttää ohjaimesta lähtevää laseria tai koko ohjain laitetaan napin sisään minkä jälkeen painetaan määritettyä näppäintä. Oculusilla virtuaalisia nappeja voidaan käyttää painamalla ohjaimen muut näppäimet kuin etusormen liipaisin pohjaan ja hyödyntää virtuaalisen käden etusormeaa (Oculus developers 2019). Leap Motionin avulla pysytään seuraamaan tarkkaan käyttäjän kädenliikkeitä. Käytettäessä Leap Motionia ei tarvita ollenkaan ohjaimia, vaan ohjaus tapahtuu käsiä seuraavien kameroiden avulla. (Leap Motion 2019.)

2.5 VR:n käyttökohteet

VR:n käyttö on kasvanut runsaasti viime aikoina (Rogers 2019). Eniten VR:stä uutisoidaan viihdekäytössä, mutta se soveltuu hyvin myös yrityskäyttöön. VR:ssä liikkuminen aiheuttaa monissa käyttäjissä pahoinvointia. Pahoinvointia voidaan vähentää antamalla käyttäjälle kojelauta tai muu kiintopiste, joka liikkuu käyttäjän mukana. Liikkuminen voidaan hoitaa myös teleporttaamalla eli osoittamalla ohjaimesta lähtevällä laserilla, minne halutaan liikkua. Pahoinvointi rajoittaa VR:ssä vietettävää aikaa, mikä saattaa karsia VR:n käyttökohteita. (Hudelson 2019).

Yrityskäytössä VR:ää käytetään muun muassa kouluttamiseen ja todenmukaiseen virtuaaliseen esittelyyn. VR:n etuja ovat halpa ja vaaraton työympäristö sekä suhteellisen helppo kuljetettavuus. VR soveltuu erityisesti suuren ja painavan kaluston huoltoharjoitukseen. Jos harjoittelupisteitä tarvitaan useampia, on todennäköisesti halvempaa ostaa

lisää VR-laitteita ja lisää lisenssejä harjoittelusovellusta varten. VR vie yleensä vähemmän tilaa eikä ohjaa välttämättä tarvita vahtimaan harjoittelun kulkua, koska VR-sovelluksessa on omat ohjeistuksensa.

2.6 VR rakennussuunnittelussa

VR:n käyttö rakennussuunnittelussa ja arkkitehtuurissa on kasvanut kovaa vauhtia viime vuosina. VR auttaa vakuuttamaan asiakasta ja hahmottamaan, miltä lopputulos tulisi näyttämään käytännössä. Jotta VR-kokemus olisi todella toimiva, on asiakkaan voitava olemaan vuorovaikutuksessa ympäristönsä kanssa. (TDM studio 2017.)

IKEA VR Experience on Ikean VR rakennussuunnitteludemo, joka on vapaasti saatavilla Valven Steam-sovelluskaupasta ja vaatii HTC Viven toimiakseen. Käyttäjä voi kävellä ympäri virtuaalista keittiötä, vaihdella värejä, avata kaapin ovia ja kokeilla keittiön muita yleisiä toiminnallisuuksia. IKEA VR Experience keskittyy enimmäkseen antamaan käyttäjälle tilaisuuden kokea miltä keittiö tuntuisi käytännössä. Kuvista on vaikea nähdä, miltä keittiö oikeasti näyttäisi, ja kuvien näkökulmat ovat hyvin rajoittuneita. (IKEA VR Experience 2016.)

Suomalainen 3D talo Finland tarjoaa erilaisia VR-palveluita kuten aluekehityshankkeita ja VR avusteista tilasuunnittelua varten. VR avusteisessa tilasuunnittelussa arkkitehtien mallit tuodaan virtuaalitodellisuuteen, jossa asiakas voi tarkastella ja muokata niitä. Muokattu malli voidaan välittää helposti takaisin suunnittelijalle. (3D talo Finland 2019.)

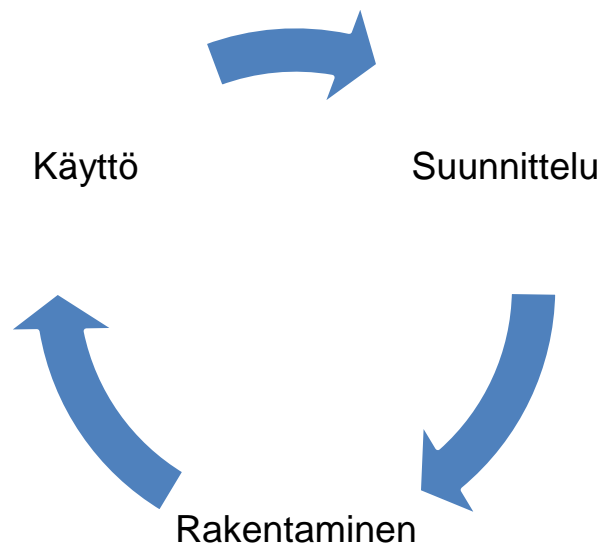
ARQVR valmistaa VR-tilaesittelysovelluksia piirrosten, BIM-mallien tai 3D-mallien pohjalta. Asiakkaan on valittava alusta, jolle sovellus kehitetään ja visuaalinen tyyli. Mobiilipohjainen VR sisältää tarkastelun ennalta määräytyistä pisteistä, mutta tietokonepohjainen VR sisältää vapaan liikkumisen ja täyden vuorovaikutuksen. Vuorovaikutuksen tason voi valita standardin ja advancedin väliltä. Standardissa on vapaa liikkuminen ja etäesitys ominaisuus ja advanced tarjoaa näiden lisäksi vuorokauden ajan säädön, vaihtoehtoisten versioiden visualisoinnin sekä värien että materiaalien valinnan. (ARQVR 2019.)

IrisVR:llä voidaan avata malli VR:ssä tarkasteltavaksi useiden tuettujen tiedostomuotojen joukosta. Muista esitellyistä VR-sovelluksista poiketen IrsiVR:ssä voi olla yhtä aikaa useampi käyttäjä samassa virtuaalisessa tilassa. Käyttäjät voivat kommunikoida puhumalla voice chatin välityksellä käyttäjien fyysisestä sijainnista huolimatta. (IrisVR 2019.)

3 RAKENNUKSEN TIETOMALLI (BIM)

The National Building Information Model Standard Project- komitea on määritellyt BIM-mallin seuraavasti: Rakennuksen tietomalli (engl. Building Information Model eli BIM) on digitaalinen esitys laitoksen fyysisistä ja toiminnallisista ominaisuuksista. BIM on jaettu tietoresurssi koskien laitoksen muodostamaa luotettavaa alustaa päätöksistä sen elinkaaren aikana. Määritellään olemassa olevaksi aikaisimmasta suunnittelusta purkamiseen asti. (National institute of building sciences 2019.)

Autodesk yleisti termin ”Building Information Modeling” laajemmalle yleisölle vuonna 2002. (Vercator 2019.)



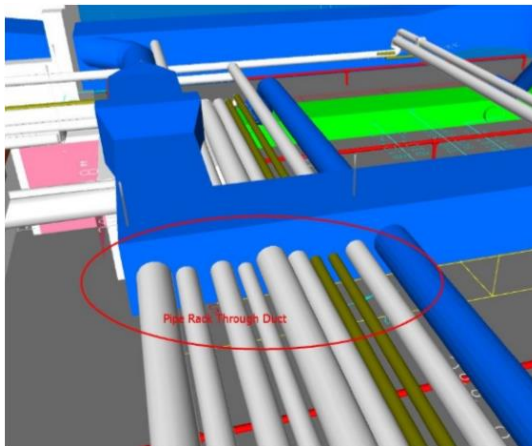
Kuva 3 Rakennuksen elinkaaren päävaiheet (Aproplan 2017).

Rakennusta suunnitellessa BIM:iä voidaan soveltaa muun muassa LVI:n (englanninkielisissä julkaisuissa usein MEP), arkkitehtuurin ja rakenteiden suunnitteluun (Muresan 2019). Mallinnus aloitetaan usein käyttäen yleistä pohjaa, joka optimoidaan budjetin ja muiden vaatimusten mukaan arkkitehdin toimesta. Malli sisältää aluksi vain tärkeimmät rakennuksen piirteet. Kun rakennusvaihe aloitetaan, aiempi hahmotelma korvataan

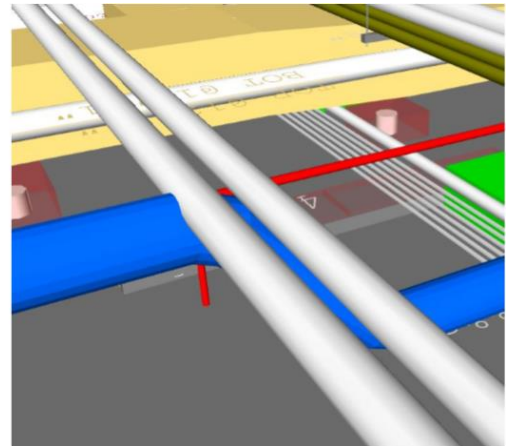
tarkalla mallilla, joka sisältää kyseisessä rakennuksessa käytettävät tuotteet. (Autodesk, Get Spec'd In 2019.)

IFC (engl. Industry Foundation Classes) on yleinen rakennusalan tiedonvaihdon standardi. Jokainen rakennuksen parissa työskentelevä henkilö voi editoida IFC-tiedostoa omilla työkaluillaan ja hyödyntää aiempien vaiheiden dataa työssään (Areo blog 2016). Buildingsmart on kehittänyt IFC:n yhteensopivuuden parantamiseksi. Suurimmat CAD-toimittajat ovat osallistuneet IFC:n kehitykseen ja niiden tuotteet tukevat sitä. BIM:n hyödyt ilmenevät erityisesti dataa jakaessa, milloin on tärkeää olla IFC:n lainen yhteinen standardi. (Solibri 2014.)

BIM-malleja tehdessä on mahdollista hyödyntää kohdistuskuutioita. Kohdistuskuutio sijoitetaan jokaisessa kerroksessa samaan kohtaan vaakatasossa, mutta kuutioiden paikat vaihtelevat pystysuunnassa kerroksien mukaan. Kohdistuskuutioita käytetään mallien kohdistamiseen. Kohdistuskuutio on kuin kerroksen oma origo. Kohdistuskuutiolla voidaan tarkistaa onko jokainen BIM-mallin osa kohdillaan, kun esimerkiksi LVI-malli yhdistetään arkkitehtuuriin. Mallien välisten ristiriitojen vakavuudesta päätellään onko muutos tehtävä heti vai myöhemmin. (Dyer 2017.)



Clash to be addressed



Clash that can be ignored for now

Kuva 4 Vasemmassa kuvassa putket menevät ilmanvaihtokanavan läpi ja virhe on korjattava heti. Oikean kuvan virhe ei ole kriittinen ja voi odottaa korjausta (Dyer 2017).

4 OHJELMISTOT JA TYÖKALUT

VR-ohjelmien kehitykseen käytetään usein valmiita kolmannen osapuolen pelimoottoreita. Yleisimmät pelimoottorit ovat Unity ja Unreal Engine. Opinnäytetyön käsittelemä projekti on tehty Unitylla ja hyödyntää laajasti VRTK-lisäosan (engl. Virtual Reality Toolkit) ominaisuuksia. BIM-datan siirtämiseen on vertailtava saatavilla olevien kolmannen osapuolen työkalujen ominaisuuksia.

4.1 Pelimoottori

Unity on tämän hetken suosituin pelimoottori. Unity pitää sisällään laajan valikoiman ominaisuuksia ja siihen on saatavilla paljon kolmannen osapuolen lisäosia. Unityn avulla on helppo julkaista sovellus alustasta riippumatta. Unityn käyttäjiä on harrastajista suuriin pelialan yrityksiin. Unityn ohjelmointikieli on C#, mutta Java on myös käytettävissä. (Petty 2019.)

Monet suuret pelialan yritykset käyttävät usein omia pelimoottoreitaan, mutta kolmannen osapuolen pelimoottoreissa on omat hyvät puolensa. Hearthstone on Blizzard Entertainmentin kehittämä korttipeli, joka on tehty Unitylla. Hearthstone oli alun perin tarkoitus julkaista vain PC:lle, mutta Unity teki sen julkaisemisen mobiililaitteille helpoksi. Unityn etuja Hearthstone kehityksessä ovat olleet mm. hyvä tuen saatavuus ja nopea kehitys. (Unity 2014.)



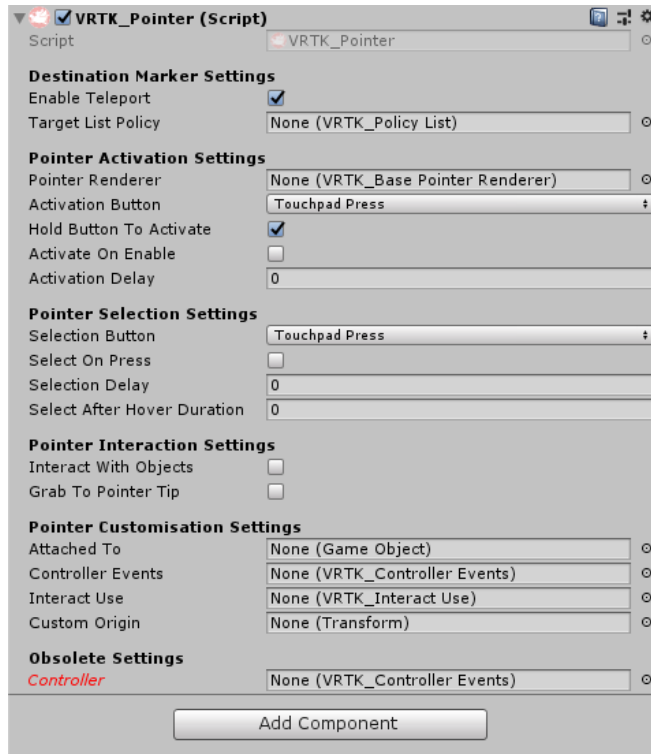
Kuva 5 Blizzard Entertainmentin julkaisema Unity-pohjainen korttipeli: Hearthstone.

Tällä hetkellä Unityn suurin kilpailija on Epic gamesin Unreal engine. Unreal enginen ohjelmointikieli on Unitysta poiketen C++. Unrealin vahvuuksiin Unityyn verrattuna kuuluvat sen valaistus- ja renderöintijärjestelmät. Merkittävin syy valita Unity on kuitenkin sen laaja resurssivalikoima. (Petty 2019.)

Unityn vahvuuksiin kuuluu sen edullisuus muihin kilpaileviin pelimoottoreihin verrattuna. Unity on maksuton harrastajille, alle 200 000 \$ vuodessa ansaitseville yrityksille Unity Plus -lisenssi maksaa 35 \$/ kk ja sen yli meneville yrityksille Unity Pro -lisenssi maksaa 125 \$/ kk. Pro-lisenssin mukana tulee myös muita etuja. Unity ei peri rojalteja Unityllä tehtävistä tuotteista. (Unity 2019.)

Unreal enginen, kaikki lisenssit ovat kuukausimaksuttomia, mutta Epic games perii viiden prosentin rojaltein, jos tuote ansaitsee yritykselle neljännesvuoden aikana yli 3 000 \$. Sekä Unitylla että Epic gamesilla on myös mukautettuja lisenssivaihtoehtoja. (Epic games 2019.)

VRTK on avoimeen lähdekoodiin perustuva ilmainen kokoelma ratkaisuja usein VR:ssä ilmeneviin ongelmiin. VRTK sisältää ratkaisuja kuten liikkumisen teleporttaamalla ja objektien poimimisen tarttumalla niistä kiinni. VRTK nopeuttaa kehitystä ja vähentää kehittäjän tekemän ohjelmoinnin määrää. Yksinkertaisimpien toimintojen tekoon kehittäjän ei tarvitse itse koodata lainkaan. Unity-sovelluksia kehitettäessä VRTK:n laisten lisäosien käyttö helpottaa jatkokehitystä, koska on todennäköisempää, että lisäosa on jo ennestään tuttu tuotteen kehitystä jatkavalle kehittäjälle ja se ei yleensä vaadi koodin tarkastelua. (VRTK 2019.)



Kuva 6 VRTK_Pointer lisää laserosoittimen VR:ään, jolla voidaan muun muassa teleportata ja painaa nappeja.

BIM-mallien tuomiseen on olemassa työkaluja kuten Tridify ja PiXYZ. Näillä lisäosilla voidaan tuoda IFC-tiedostosta rakennuksen 3D-malli ja kaikki BIM-data Unityssa käsiteltävään muotoon. Tridify ja PiXYZ nopeuttavat usein rakennuksen siirtämisprosessia Unityyn, mutta haittapuolena on niiden hinta.

Tridify on näistä kahdesta halvempi vaihtoehto. Tridifyn avulla käyttäjä voi lähettää palvelimelle IFC-tiedoston, joka ladataan sitten Unityyn sopivassa muodossa. Tridifyn hinta perustuu siihen, miten paljon tarvitaan palvelintilaa malleja varten. Yksityiskäyttöä varten voidaan palvelimelle ladata vain 30 MB edestä malleja ilmaiseksi, mutta ammattikäytössä pienin tila, joka on 200 MB, maksaa 20 \$/ kk.

PiXYZin vuosihinta on 1 000 €, mutta se tarjoaa enemmän työkaluja mallien käsittelyyn. Mallin muuntaminen tapahtuu omalla koneella mikä on todennäköisesti nopeampaa ja ei vaadi internetyhteyttä. PiXYZillä mallit voidaan helposti optimoida VR:ään sopiviksi. PiXYZ tarjoaa myös mahdollisuuden tuoda 3D-malleja valmiiseen sovellukseen. (Unity 2018.)

Vaikka Tridify vaikuttaa edullisemmalta vaihtoehdolta kuin PiXYZ, PiXYZ peittoaa sen helposti toiminnoillaan. PiXYZ ei vaadi verkkoyhteyttä, jotta BIM-malli voidaan tuoda sovelluksessa käytettävään muotoon. Vielä suurempi etu PiXYZin käytössä on kyky tuoda BIM-malleja valmiiseen sovellukseen sen sijaan, että sovelluksen kehittäjä joutuisi tuomaan mallin Unityssa. Tridifytä kehittäessä on ehkä lähinnä vain keskitytty yksittäisen mallin esittelyyn Unityn avulla, kun taas PiXYZ on huomattavasti joustavampi BIM-mallin käyttötarkoituksen suhteen. PiXYZ on myös virallisesti yhteistyössä Unityn kanssa mikä on merkittävä etu PiXYZille (Unity 2019). Näiden havaintojen pohjalta en näe syytä käyttää Tridifytä PiXYZin sijaan.

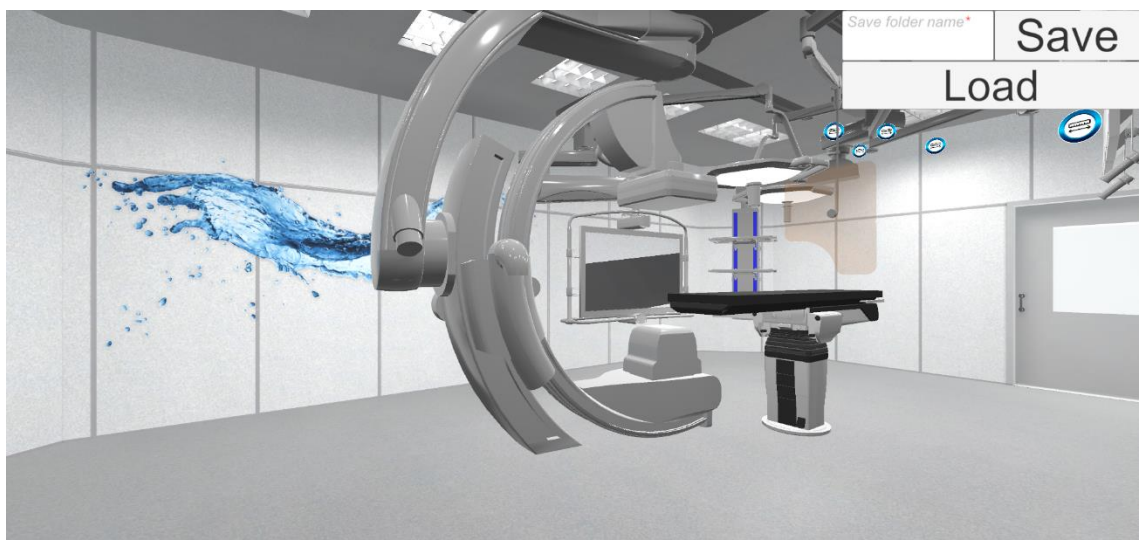
Unity Reflect on uusi lisäosa BIM-mallien tuomiseen Unityyn. Reflectin avulla BIM-malliin tehtyjä muutoksia voidaan heti tarkastella AR:ssä tai VR:ssä. Saatavilla olevasta materiaalista päätellen Reflect vaatii Autodesk Revitin toimiakseen. Reflectin on vielä todella uusi ja kehittyvä työkalu sekä sen lisensoinnista johtuen on vielä hankala ottaa tarkemmin selvää sen toiminnallisuuksista. (Unity. Getting Started with Reflect. 2019.)

MEDROOM

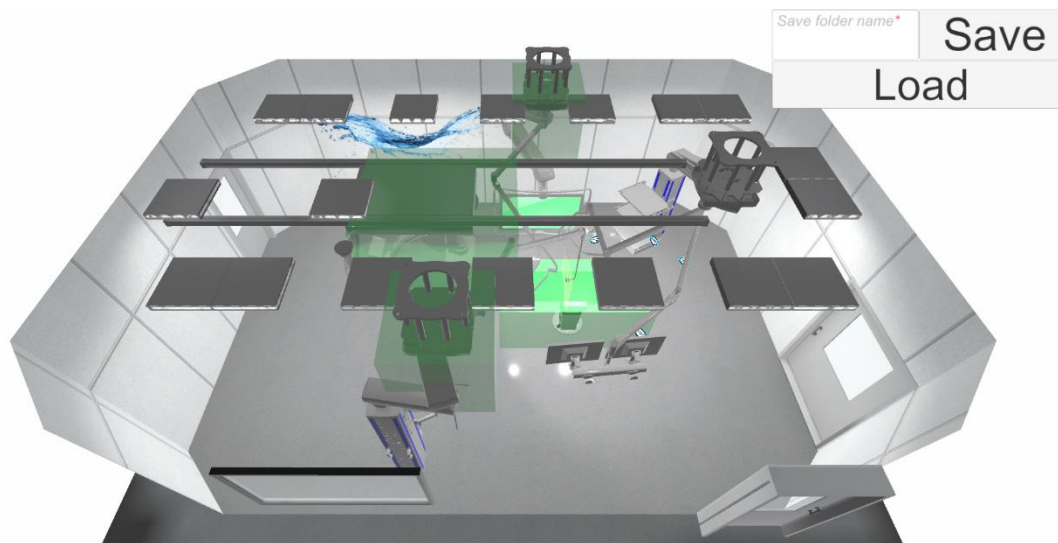
Medroom on turkulaisen Ade Oy:n kehittämä operaatiohuoneen suunnitteluohjelma. Aiemmin Medroomissa on ollut mahdollista siirtää laitteita ja kokeilla niiden toiminnallisuutta VR:ssä. Opinnäytetyön toimeksiantona oli tutkia menetelmiä datan tuontiin ja vientiin. Tavoitteena on helpottaa ja nopeuttaa BIM-mallin luontiprosessia. Työn olennainen osa on hyvä käyttöliittymä.

Operaatiohuoneen suunnitteluun on monia eri tapoja. Huoneiden suunnittelussa käytetään pahvi- ja vanerimalleja ja laitevalmistajilla on myös omia suunnittelutyökaluja. Etenkin fyysisten mallien luominen on hyvin työlästä ja vie paljon aikaa. BIM-mallin luominen näiden mallien pohjalta vie jopa kymmeniä tunteja.

Medroom-sovelluksessa käyttäjä pystyy liikkumaan virtuaalisessa operaatiohuoneessa teleporttaamalla ja liikuttelemaan huoneen laitteita tarttumalla niistä kiinni. Laitteita voidaan myös kustomoida osoittamalla laserilla ja painamalla liipaisinta kunkin osan valikon avaavan napin yllä. Valikosta voidaan valita esimerkiksi, kuinka pitkä laitteen varren osa on. Ylänäkömään siirryttäessä käyttäjä voi lisätä uusia laitteita ja siirrellä niitä ympäri huonetta. Asettelu voidaan tallentaa ja ladata, minkä lisäksi tallentaessa ohjelma kirjoittaa tiedostoon laitteiden sijainnit ja muun datan, joita voidaan manuaalisesti hyödyntää vaikka 3D-mallinnus ohjelmistoissa tai BIM-mallissa.



Kuva 7 Kuvauslaite ja leikkauspöytä. Oikeassa yläkulmassa tallennus- ja lataustoiminnot.



Kuva 8 Ylänäkökuvassa voidaan siirrellä laitteita tarttumalla kiinni vihreisiin laatikoihin.

4.2 BIM-malli ja datan siirto

Tridify ja PiXYZ soveltuvat BIM-mallien tuomiseen Unityyn, mutta Unityssa ei kuitenkaan ole olemassa valmiita menetelmiä viedä dataa BIM-malliin. Datan vientiä hankaloittaa entisestään mahdollisuus lisätä ja poistaa laitteita huoneesta. Olemassa olevat lisäosat ovat enemmänkin tarkoitettuja rakennuksen ja sen tietojen tarkasteluun pelimoottorissa, eikä niinkään editointiin.

Mikäli Medroomissa halutaan käyttää kolmannen osapuolen työkaluja BIM-datan siirtoa varten niiden tulisi mitä todennäköisimmin olla kertamaksullisia. Tridifyn ja PiXYZin kuu-kausi- tai vuosimaksu tekevät niistä turhan kalliita ottaen huomioon, miten vähän niitä tultaisiin käyttämään. Medroomissa ei tuoda kokonaisen rakennuksen mallia vaan yleensä vain yksittäinen huone ja sen laitteet joudutaan kuitenkin käsittelemään erikseen, jotta laitteita voidaan käsitellä VR:ssä.

Laitteiden mallit vaativat aina manuaalista käsittelyä ennen kuin ne siirretään Unityyn. Liikkuvat osat ovat usein hitsattuja yhteen tai ne ovat sirpaleina. Mallien osien pivotit eli keskipisteet, joiden ympäri niitä voidaan pyörittää, täytyy sijoittaa siihen kohtaan mistä ne kiinnittyvät toiseen laitteen osaan. Kiinnitysjärjestys on ulommaisesta osasta sisimpään, joista sisin on katto- tai lattiakiinnitys. Uusia laitteita ei tarvitse kuitenkaan jatkuvasti lisätä, kun ne ovat kerran lisätty kirjastoon.

BIM-mallin viemiseen ei ole valmiita työkaluja. Ratkaisuna ongelmaan saattaa olla Revit macrot. Revit macrot ovat pieniä ohjelmia, joiden tarkoituksena on nopeuttaa Revitissä (BIM-mallien editori) tapahtuvia tehtäviä kuten objektien pyörittäminen. Laitteiden siirtäminen voitaisiin toteuttaa esimerkiksi laskemalla Unityssa kuinka paljon laitetta on siirretty ja kirjoittamalla se tiedostoon, jonka macro lukee. Laitteiden lisääminen ja muokkaaminen on haasteellisempaa. Objekteja siirrettäessä voidaan valita vastaava 3D-malli IFC-tiedostossa, mutta lisätessä tarvitaan 3D-mallin lähde, joka tuodaan BIM-malliin. Laitteiden varsien mittoja editoidessa tarvitaan myös vaihtoehtoiset mallit varsille ja niiden kiinnityspisteiden sijainnit ovat erittäin haasteellisia määrittää koodissa. Sen lisäksi, että macrojen kirjoittaminen on hankalaa, tulisi asiakaan myös osata käyttää niitä, mikä tekee niistä sopimattoman ratkaisun tähän tarkoitukseen.

Manuaalinen mallin editointi viedyn datan pohjalta vaikuttaa olevan tällä hetkellä luotettavin vaihtoehto, koska valmiita kolmannen osapuolen ratkaisuja BIM-datan vientiin ei ole. Ohjelma voi kirjoittaa laitteiden määrät, sijainnit ja editoidut osat helposti tiedostoon, jonka avulla muutokset voidaan tehdä BIM-malliin. Laitteita ei mahdu kovin montaa yhteen operaatiohuoneeseen ja mallia joudutaan joka tapauksessa editoimaan ennen operaatiohuoneen rakentamista, joten macro ei mitä todennäköisimmin säästäisi aikaa juuri ollenkaan. Manuaalisesti muutoksia tehdessä voidaan korjata työkalussa tehdyt pienet virheet ja käyttäjän valitsemat sijainnit ovat pääosin vain suuntaa antavia. Jos laitteet aseteltaisiin tarkalleen työkalussa määritellyllä tavalla, on hyvin mahdollista, etteivät esimerkiksi kuvauslaite ja leikkauspöytä olisi oikeilla kohdillaan toisiinsa nähden.

Kun käyttäjä tallentaa huoneen laitteiden asettelun, ohjelma luo kansion, joka pitää sisällään tarvittavat tiedostot asettelun uudelleenavaamiseen Unityssa sekä tekstitiedoston datasta manuaalista käsittelyä varten. Jokaisen laitteen nimen alla on tiedot katto-kiinnityselementin nimestä 3D-mallinnusohjelmassa, sijainti Unityn koordinaatistossa, sijainti 3D-mallinnusohjelmassa, laitteen asento ja sijainnin muutos kummassakin formaatissa. Datan formaatti tulee vielä vaihtumaan ja se tullaan mahdollisesti sijoittamaan laskentataulukkoon. Tämänhetkinen nimeäminen voi olla asiakkaalle hankala ymmärtää. Dataan on mahdollisesti lisättävä BIM-mallia varten sijainti huoneen oman kerroksen kohdistuskuutioon nähden.

Esimerkki tallennetusta sijaintidatasta:

poyta2

{

RawModelMountName: Layer:MaterialLayer_153_153_153

Position: (1,475215, 0,5357751, 0,01150618)

DistanceMoved: (0, 0, 0)

Rotation: (270, 0, 0)

AmountRotated: (0, 0, 0)

PositionIn3DSMax: (-14,75215m, -0,1150618m, 5,357751m)

DistanceMovedIn3DSMax: (0m, 0m, 0m)

}

Kuvantamislaitte_katto

{

RawModelMountName: kiskot

Position: (-0,7406031, 2,871402, 0,01623967)

DistanceMoved: (0, 0, 0)

Rotation: (270, 0, 0)

AmountRotated: (0, 0, 0)

PositionIn3DSMax: (7,406031m, -0,1623967m, 28,71402m)

DistanceMovedIn3DSMax: (0m, 0m, 0m)

}

5 LOPUKSI

Opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella VR:n soveltuvuutta rakennussuunnittelun työkaluna ja etsiä ratkaisuja datan tuontiin ja vientiin BIM-mallin ja suunnitteluohjelman välillä. Medroom on todettu asiakkaan toimesta hyväksi työkaluksi laiteasettelun suunnitteluun, minkä takia heräsi tarve jatkokehitykselle. Asiakas voi itse helposti siirrellä ja muokata laitteita VR:ssä, mutta aiemmin laitevalmistajien omat työkalut ovat olleet hankalia käyttää ja fyysiset pahvi- ja vanerimallit vaativat paljon aikaa.

Opinnäytetyön suurin haaste oli BIM-datan käsittely. BIM oli minulle aivan uusi käsite, joten jouduin opettelemaan paljon asioita rakennussuunnittelua koskien. Operaatiohuoneen mallin tuominen ei olisi hirvittävän suuri haaste, mikäli niitä ei olisi enemmän kuin yksi.

Koska jokainen operaatiohuone on erilainen, on oltava tapa tuoda uusia huoneiden malleja valmiiseen sovellukseen. Jotta huonetta voidaan tarkastella VR:ssä ja sinne voidaan lisätä laitteita, erityisesti kattoon, on joko tuotavan mallin oltava tehty tarkkaan ohjeistulla tavalla tai keksittävä menetelmä löytää esimerkiksi katon osat huoneen mallista automaattisesti laitteiden asettelua ja katon piilottamista varten, mikä hankaloittaa asioita merkittävästi. Lattia on löydettävä, jotta huoneessa voidaan liikkua. Huonepohjassa on mahdollista olla valmiiksi sijoitettuja laitteita, jotka ohjelma korvaa VR:ää varten luoduilla laitteilla laitekirjastosta. Mallista on löydettävä kohdistuskuutio, koska dataa viedessä BIM-mallinnusta varten, on tiedettävä mihin mallien sijainteja verrataan BIM-mallinnusohjelmassa.

Tällä hetkellä tarkkojen ohjeiden laatiminen huonepohjia mallintaville 3D-artisteille vaikuttaa parhaalta menetelmältä huonepohjan tuomiseen. Jotta suunnitteluohjelma tunnistaisi oikean osan mallista, on erillisten objektien nimien noudatettava ohjeita, jotka koskevat objektien nimeämistä ja hierarkiaa. Esimerkiksi laitteita varten mallissa voisi olla niille oma layer "Machines", jonka sisältä löytyvät laitteet, joilla on kullakin ennalta ohjeissa määrätty nimi esimerkiksi: "OperationTable1". Huonepohjien tuomiseen IFC-tiedostosta tai muusta 3D-mallista valmiissa sovelluksessa voidaan todennäköisesti hyödyntää PiXYZiä.

Huonepohjan tuonnin yksi suurimmista haasteista on valaistuksen toteutus. Valaistus on hyvin suuri osa ympäristön tunnelmaa ja sen luominen jo yhtä pohjaa varten on vaatinut

useita tunteja. Suunnitteluohjelman nykyversiossa oleva huone käyttää sekä renderoituja että dynaamisia valoja. On tutkittava, miten pelkät dynaamiset valot toimisivat, ja niille on osoitettava paikat huonepohjassa samaan tapaan kuin laitteillekin. Renderoituja valoja ei voida käyttää, koska niitä ei voida renderoida valmiissa sovelluksessa ja renderointi vie paljon aikaa.

Jotta huonepohjaan voitaisiin korvata toimivat laitteet, on tehtävä laitekirjasto. Laitteita voidaan myös lisätä ja poistaa huonepohjasta. Jokaiseen laitteeseen on tehtävä säädettävät varsien pituudet, jotka ovat vasta yhdessä laitteessa Medroomin nykyisessä versiossa. Laitekirjaston päivitystä ei voida hoitaa kolmannen osapuolen toimesta, mikäli halutaan lisätä uusia laitemalleja. Laitekirjaston päivitys täytyy hoitaa sovelluspäivityksellä.

Datan vientiin BIM-malliin ei vaikuta olevan tällä hetkellä ainuttakaan kolmannen osapuolen ratkaisua. Koska datan vientiä ei voida täysin automatisoida erityisesti sen takia, että esimerkiksi laitteiden varsien pituuksia voidaan muokata, oli järkevintä antaa ihmisen tehdä muutokset BIM-malliin annetun datan perusteella. Laitedatanvientimenetelmä on viimeisimmässä versiossa melko sekava, joten tallennusmenetelmää on selkeytettävä. Viety data on puutteellista ja siitä uupuvat kokonaan laitteiden varsien mitat. Datan tallentaminen laskentataulukon voisi selkeyttää asiaa.

BIM-mallin luomista voisi helpottaa niin, että suunnitteluovelluksen tallennustoiminto piirtäisi esimerkiksi vektorikuvan SVG-tiedostoon (engl. Scalable Vector Graphics) laitteiden asettelusta, josta saa viittaa antavan kuvan laitteiden asettelusta BIM-mallia luodessa. Helpompi vaihtoehto on ottaa ruudunkaappaus suoraan ylhäältäpäin.

Unity Reflectin avulla voidaan tuoda BIM-malli Autodesk Revitistä reaaliajassa Unityyn. Koska Reflect voi mahdollisesti myöhemmin helpottaa Medroomin kehitystä huomattavasti, jos sillä voidaan esimerkiksi tehdä muutoksia alkuperäiseen BIM-malliin, mutta tällä hetkellä sellaista ominaisuutta ei nähtävästi ole. Näillä näkymin PiXYZ soveltuu paremmin Medroomin tarpeisiin kuin Reflect, mutta on mahdollista, että tulevaisuudessa Medroomista tehdään versio, joka hyödyntää Reflectin ominaisuutta, jolla voidaan heti tarkastella Revitissä tehtyjä muutoksia VR:ssä tai AR:ssä.

Jatkokehityksen aikana päästään kokeilemaan käytännössä, miten PiXYZ ja Unity Reflect soveltuvat BIM-datan tuontiin ja mahdollisesti vientiin. Opinnäytetyön aikana ei ollut mahdollista kokeilla kaikkien lisäosien käyttöä ja edellä mainittuihin lisäosiin on tulossa vielä lisää ominaisuuksia. Mikäli kolmannen osapuolen lisäosilla ei voida viedä dataa BIM-malliin, on keskusteltava BIM-mallia käsittelevien henkilöiden kanssa, millaisessa

muodossa viety data halutaan esitettävän. Mallien tuominen vaatii joka tapauksessa keskustelua huoneiden mallien tekijöiden kanssa.

VR-tuen lisääminen sovellukseen ei tee mielestäni sovelluksen kehityksestä teknisin puolin kovin paljon hankalampaa. Kolmannen osapuolen lisäosat kuten VRTK tekevät VR-kehityksestä erittäin helppoa. VR-kehitys on enemmänkin artistinen haaste. Tietokoneen näytöllä selkeältä näyttävät objektit voivat toimia huonosti VR:ssä ja käyttöliittymä poikkeaa paljon perinteisestä tietokoneen näytölle tehdystä.

Jatkuvasti kehittyvät lisäosat ja laitteet aiheuttivat päänvaivaa opinnäytetyön aikana. Unity Reflect julkaisu ja VR-laitteiden uudet versiot edellyttivät tehdyn työn päivittämistä. Kun sovelluksen kehitystä jatketaan, on mitä todennäköisimmin tullut jo päivityksiä ja uusia vaihtoehtoja lisäosiin BIM-datan käsittelyyn.

LÄHTEET

Areo blog. 2016. What is IFC and what do you need to know about it?. Viitattu 19.9.2019. <https://blog.areo.io/what-is-ifc/>

ARQVR. Viitattu 11.12.2019. <http://arqvr.com/>

Autodesk Viitattu 4.4.2019. <https://www.autodesk.com/solutions/bim>

Autodesk. Get Spec'd In, How building product manufacturers can create BIM objects to win more business. Viitattu 17.4.2019.

Bardi, J. 2019. What is Virtual Reality? [Definition and Examples]. Marxent. Viitattu 26.10.2019. <https://www.marxentlabs.com/what-is-virtual-reality/>

Department of the Arts. 1996. The History of Stereo Photography. Viitattu 3.4.2019. http://www.arts.rpi.edu/~ruiz/stereo_history/text/historystereog.html

Epic games. 2019. Frequently asked questions (FAQ). Viitattu 11.12.2019. <https://www.unrealengine.com/en-US/faq>

Dyer, N. 2017. BIM Execution Plans That Are Actually Executable. Autodesk University. Viitattu 4.10.2019. <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/BIM-Execution-Plans-Are-Actually-Executable-2017>

Giniaux, O. & Milon, L. 2018. Unlock your CAD data for real time development Unity+PiXYZ - Unite LA. Unity. Viitattu 11.9.2019. <https://www.youtube.com/watch?v=psT9ub7LoM>

Green, E. 2016. BIM 101: What is Building Information Modeling?. Viitattu 5.4.2019. <https://www.engineering.com/BIM/ArticleID/11436/BIM-101-What-is-Building-Information-Modeling.aspx>

Haapala, K. 2016. Pelitutkija kertoo, miksi Pokémon Go on niin suosittu. Aamulehti. Viitattu 9.12.2019. <https://www.aamulehti.fi/a/24007022>

Hudelson, B. Designing for VR: A Beginners Guide. 2019. Marvel. Viitattu 19.12.2019. <https://blog.marvelapp.com/designing-vr-beginners-guide/>

IKEA VR Experience. 2016. Steam. Viitattu 3.4.2019. https://store.steampowered.com/app/447270/IKEA_VR_Experience/

IrisVR. Instant Virtual Reality for the Building Industry. Viitattu 11.12.2019. <https://www.irisvr.com/>

Interaction design foundation. What is augmented reality? Viitattu 9.12.2019. <https://www.interaction-design.org/literature/topics/augmented-reality>

Leap Motion. The Leap Motion software and hardware platform brings your bare hands directly into virtual and augmented reality. 2019. Viitattu 19.12.2019. <https://www.leapmotion.com/technology/>

Manninen, A.-P. 2017. Rakennusesittely virtuaalitodellisuudessa. Viitattu 9.12.2019. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/127678/manninen_ari-pekka.pdf

Muresan, F. How MEP Engineering and Building Information Modeling Reduce Costs. Newyork engineers. Viitattu 26.10.2019. <https://www.ny-engineers.com/blog/how-mep-engineering-and-building-information-modeling-reduce-costs>

National Institute of Building Sciences. <https://www.nationalbimstandard.org/faqs>

- Oculus developers. Viitattu 3.4.2019. <https://developer.oculus.com/documentation/pcsdk/latest/concepts/dg-input-touch-overview/>
- Perälä, J. 2017. Virtuaalitodellisuuden hyödyntäminen sisustussuunnittelussa. Viitattu 9.12.2019. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/124672/Perala_Jenna.pdf
- Petty, J. 2019. What is Unity 3D & What is it Used For? Concept art empire. Viitattu 11.12.2019. <https://conceptartempire.com/what-is-unity/>
- Rajala, A. 2016. Kolme suurta: Playstation VR vs Oculus Rift vs HTC Vive. Reactor. Viitattu 3.4.2019. <https://www.gamereactor.fi/artikkelit/319443/Kolme+suurta+Playstation+VR+vs+Oculus+Rift+vs+HTC+Vive/>
- Solibri. 2014. About BIM and IFC. Viitattu 9.12.2019. <https://www.solibri.com/bim-ifc>
- Soupporis, A. 2016. How HTC and Valve built the Vive. Viitattu 2.8.2019. <https://www.engadget.com/2016/03/18/htc-vive-an-oral-history/>
- Starkey, D. The Race to Develop VR Controls. Polygon. Viitattu 19.12.2019. <https://www.polygon.com/a/the-race-for-vr/the-race-for-vr-controls>
- Statista. Unit shipments of virtual reality (VR) devices worldwide from 2017 to 2019 (in millions), by vendor. 2019. Viitattu 2.8.2019. <https://www.statista.com/statistics/671403/global-virtual-reality-device-shipments-by-vendor/>
- Steam. 2019. Viitattu 2.8.2019. <https://store.steampowered.com/sub/354231/>
- TDM studio. 2017. Virtual Reality Uses in Architecture and Design. Viitattu 11.12.2019. <https://medium.com/studiotmd/virtual-reality-uses-in-architecture-and-design-c5d54b7c1e89>
- Thomas Goubau. 2017. Recognising BIM Roles in a Project Cycle. Aproplan. Viitattu 4.10.2019. <https://www.aproplan.com/blog/construction-collaboration/recognising-bim-roles-project-cycle>
- Unity. 2014. Card life: Hearthstone by Blizzard Entertainment. Viitattu 11.12.2019. <https://unity3d.com/case-study/hearthstone>
- Unity. 2019. Getting Started with Reflect. Viitattu 9.12.2019. <https://learn.unity.com/course/getting-started-with-reflect>
- Unity. 2019. Plans and pricing. Viitattu 11.12.2019. https://store.unity.com/?_ga=2.234416669.2029428118.1576032042-1275847229.1576032042#plans-business
- Unity. 2019. Unlock your CAD data for real-time development. Viitattu 11.12.2019. <https://unity3d.com/unity#cad>
- Vercator. 2019. The Ultimate Guide to BIM in 2019. Viitattu 17.10.2019. <https://vercator.com/ultimate-guide-to-bim/>
- Virtual Reality Society. Viitattu 3.4.2019. <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.html>
- VRTK. About. Viitattu 11.12.2019. <https://www.vrtk.io/>
- Whyte, J. & Nikolić, D. Virtual Reality and the Built Environment. 2018. Routledge. Viitattu 19.12.2019. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/turkuamk-ebooks/detail.action?docID=5265907>
- 3D talo Finland. Virtuaalitodellisuuden tilasuunnittelu ja aluekehitys. Viitattu 11.12.2019. <https://3dtalo.fi/tila-ja-aluesuunnittelu>

