

Vilma Mainio

**VIRTUAALITODELLISUUDEN HYÖDYNTÄMINEN
RAKENNUSTEOLLISUUDESSA**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
INFORMAATIOTEKNOLOGIAN TIEDEKUNTA
2020

TIIVISTELMÄ

Mainio, Vilma

Virtuaalitodellisuuden hyödyntäminen rakennusteollisuudessa

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2020, 32 s.

Tietojärjestelmätiede, kandidaatintutkielma

Ohjaaja: Seppänen, Ville

Virtuaalitodellisuus (Virtual Reality, VR) on tietokoneella luotu digitaalinen ympäristö, joka on samaan aikaan vuorovaikutteinen ja reaaliaikainen. Virtuaalitodellisuutta tarkastellaan usein virtuaalitodellisuuslasien avulla, mutta VR:n kehityksen myötä on syntynyt paljon myös muun tyyppisiä näyttöjä. Tässä tutkielmassa tarkasteltiin, miten rakennusteollisuus hyödyntää virtuaalitodellisuutta. Tutkielman tarkoituksena oli myös selvittää, mitä hyötyjä rakennusteollisuus voi VR:n avulla saavuttaa. Tutkielma toteutettiin kirjallisuuskatsauksena ja lähteinä käytettiin aineistoja virtuaalitodellisuudesta, rakennusteollisuudesta ja näiden yhdistelmistä. Tutkimustuloksina todettakoon, että virtuaalitodellisuuden hyödyntäminen rakennusteollisuudessa painottuu lopputuloksen visualisointiin. Tämän lisäksi virtuaalitodellisuutta käytetään kommunikointivälineenä suunnittelijoiden ja asiakkaiden välisessä vuorovaikutuksessa, kiinteistövälityksessä, virheiden havaitsemisessa sekä koulutuksen että turvallisuuden parantamisessa. Virtuaalitodellisuus tarjoaa rakennusalalle tehokkaan suunnittelualustan, jonka avulla erilaisten ratkaisujen kokeilu jo suunnitteluvaiheessa on mahdollista. Tulevaisuudessa virtuaalitodellisuus tulee entisestään muokkaamaan rakennusalan perinteisiä prosesseja ja luomaan näin kustannussäästöjä ja lisäarvoa asiakkaille. Vaikka rakennusteollisuus jo hyödyntää virtuaalitodellisuutta, ei sen täyttä potentiaalia ole vielä saavutettu. Nähtäväksi jää, tarjoaako virtuaalitodellisuus ratkaisun rakennusalan heikkoon tuottavuuteen.

Asiasanat: virtuaalitodellisuus, VR, virtuaaliympäristö, rakennusteollisuus

ABSTRACT

Mainio, Vilma

Utilizing Virtual Reality in Construction Industry

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2020, 32 pp.

Information Systems, Bachelor's Thesis

Supervisor: Seppänen, Ville

Virtual Reality (VR) is a computer-generated digital environment that is both interactive and real-time. Virtual reality is often viewed with the VR-glasses, but with the development of VR, many other types of displays have also emerged. This thesis explored how the construction industry utilizes virtual reality. The purpose of the thesis was to find out the benefits that the construction industry can achieve with VR. The thesis was carried out as a literature review and sources from virtual reality, construction industry and their combinations were used. As the result of the research, the utilization of virtual reality in the construction industry focuses on the visualization of the result. In addition, virtual reality is used as a communication media between designers and customers, in real estate, error detection, education and security. Virtual Reality provides the building industry with an effective design platform that allows testing of different solutions at the design stage. In the future, virtual reality will change traditional processes in the construction industry, creating cost savings and added value for customers. Although the construction industry is already using virtual reality, its full potential has not yet been achieved. It remains to be seen whether virtual reality offers a solution to the poor productivity of the construction industry.

Keywords: virtual reality, VR, virtual environment, construction industry

KUVIOT

KUVA 1 Virtuaalitodellisuus	9
KUVA 2 Oculus Rift VR-lasit	12
KUVA 3 Googlen Gardboard VR-lasit	13
KUVA 4 Cave-tila	14
KUVIO 5 Yhdistetyn todellisuuden (Mixed Reality, MR) jatkumo	16

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
KUVIOT	4
1 JOHDANTO.....	6
2 VIRTUAALITODELLISUUS	8
2.1 Virtuaalitodellisuuden määritelmä.....	8
2.2 Kehitys nykypäivään.....	9
2.3 Markkinoilla olevat VR-laitteistot ja sisällön tuotto	11
2.3.1 VR-lasit.....	11
2.3.2 Tietokoneeseen liitettävät lasit	11
2.3.3 Älypuhelimeen liitettävät lasit	12
2.3.4 Virtuaalitodellisuusnäytöt	13
2.3.5 Cave.....	13
2.4 VR-laitteiden haasteet ja ongelmat.....	14
2.5 Muita todellisuuden muotoja	15
2.5.1 Lisätty todellisuus	15
2.5.2 Virtuaalinen jatkumo ja yhdistetty todellisuus.....	16
3 VIRTUAALITODELLISUUS RAKENNUSPROSESSIN TYÖKALUNA.....	18
3.1 Rakennusala ja VR-tekniikan tilanne	18
3.2 Rakennushankkeen virtuaalinen suunnittelu	19
3.2.1 Virtuaalinen prototyyppi	20
3.2.2 Virtuaalitodellisuus arkkitehtien ja rakennesuunnittelijoiden apuna.....	20
3.3 Virheiden havaitseminen.....	21
3.4 Vuorovaikutus ja asiakaslähtöisyys.....	22
3.5 Virtuaaliset asunonäytöt	23
3.6 Koulutus ja turvallisuus.....	24
4 YHTEENVETO JA POHDINTAA	26
LÄHTEET	29

1 JOHDANTO

Steinicken (2016) mukaan kuluttajien kiinnostus virtuaalitodellisuutta kohtaan on viime vuosina jälleen noussut. Tämän selittää teknologian nopea kehitys parantaen VR-laitteiden tehokkuutta, näyttöjen tarkkuutta ja mobiililaitteiden myötä myös laitteiden keveyttä (Steinicke, 2016, s. 31). Uusia VR-laitteita ja ohjelmia syntyy jatkuvasti, eikä VR ole vielä saavuttanut täyttä potentiaaliaan. Virtuaalitodellisuutta hyödynnetään jo monilla eri aloilla ja sillä nähdään olevan merkittävää hyötyä myös rakennusteollisuudelle.

Wokseppin, Jongelingin ja Olofssonin (2005) mukaan virtuaalitodellisuuden käyttö rakennusteollisuudessa painottuu lopputuloksen visualisointiin. Tämän lisäksi virtuaalitodellisuutta käytetään eri suunnitteluvaihtoehtojen tutkimiseen, rakennustoiminnan stimulointiin, suunnittelun kommunikointiin ja mahdollisten päällekkäisyyksien ja virheiden havaitsemiseen. Rakennushankkeen suunnittelua voidaan pitää rakennusprosessin kriittisimpänä vaiheena lopputuloksen kannalta (Li ym., 2008). Virtuaalitodellisuus mahdollistaa suunnitelman tarkastelun todellisessa koossa, jolloin suunnitelmasta havaitut virheet pystytään jo varhaisessa vaiheessa havaitsemaan ja tilan toiminnallisuutta tarkastelemaan. Rakennusprosessin aikana havaitut virheet ovat erittäin kalliita korjata ja muuttaa. (Whyte, 2003) Virtuaalitodellisuus tarjoaa myös välineen rakennushankkeen eri osapuolten kommunikointiin. VR:n avulla suunnitelma on kaikkien osapuolten saatavilla ja suunnittelijat ja asiakkaat ymmärtävät paremmin toisiaan, kun suunnitelma on helposti muunnettavissa visuaaliseen muotoon. Rakennushankkeen tarkoituksena on luoda asiakkaalle arvoa. Usein asiakaslähtöinen suunnittelu kuitenkin epäonnistuu ja asiakas nähdään suunnittelussa ulkopuolisena toimijana. (Whyte, 2003) Virtuaalitodellisuuden myötä asiakaan sitouttaminen mukaan suunnitteluprosessiin paranee. Rakennustyömaat ovat edelleen yksi vaarallisimmista työympäristöistä. Virtuaalitodellisuus tarjoaa apua myös työturvallisuuden parantamiseen ja lisäksi virtuaalitodellisuudesta on todettu olevan apua rakennusinsinöörien koulutukseen. (Abulrub, Attridge & Williams, 2011).

Tutkielman tavoitteena on luoda selkeä kuva virtuaalitodellisuudesta ja kartoittaa miten kyseistä teknologiaa hyödynnetään tällä hetkellä rakennusteol-

lisuuden prosesseissa. Tutkielman tavoitteisiin päästään vastaamalla tutkimuskysymyksiin. Tässä kirjallisuuskatsauksessa tutkimuskysymykset ovat:

- *Miten virtuaalitodellisuutta käytetään tällä hetkellä rakennusteollisuudessa?*
- *Mitä hyötyjä rakennusteollisuus voi virtuaalitodellisuuden avulla saavuttaa?*

Tämä tutkielma on tehty kirjallisuuskatsauksena, jossa tutustutaan jo olemassa olevaan kirjallisuuteen ja tutkimuksiin aiheesta. Lähteitä on haettu Google Scholarista ja Jyväskylän yliopiston JYKDOK-hakupalvelusta. Aineistoa kerätessä on kiinnitetty huomiota lähteiden ajankohtaisuuteen sekä luotettavuuteen, jota on muun muassa tarkastettu hyödyntämällä suomalaisen tiedeyhteisön toteuttamaa tutkimuksen laadunarviointia Julkaisuforumissa (Julkaisuforum, 2020). Lähteitä on haettu pääasiassa hakusanoilla "virtual reality" (suom. virtuaalitodellisuus, VR), "virtual environment" (suom. virtuaalinen ympäristö) ja "construction industry" (suom. rakennusteollisuus).

Kirjallisuuskatsaus muodostuu johdannon lisäksi kahdesta sisältöluvusta. Johdannon jälkeen toisessa luvussa käsitellään virtuaalitodellisuutta, sen kehitystä nykypäivään ja markkinoilla olevia VR-laitteistoja. Lisäksi tässä luvussa määritellään myös muita todellisuuden muotoja ja tutustutaan Milgramin vuonna 1994 esittelemään virtuaaliseen jatkumoon. Kolmannessa luvussa tutustutaan rakennusalaan sekä virtuaalitodellisuuden nykytilaan rakennusteollisuudessa. Lisäksi luvussa pyritään kertomaan mitä arvoa VR:n hyödyntäminen rakennusteollisuudelle tuo. Viimeinen luku pitää sisällään yhteenvedon katsauksessa käsitellyistä aiheista. Yhteenvedossa käydään läpi tutkimuksesta syntyneet havainnot ja lopuksi esitellään mahdollisia jatkotutkimusaiheita.

Koska tutkimusaihe on hyvin laaja, ei tarkoituksena ole luoda yksityiskohdista näkemystä, vaan pyrkimyksenä on ennemmin luoda hyvä kokonaiskuva aiheesta. Tästä syystä tutkielmassa keskitytään virtuaalitodellisuuden (Virtual Reality) tutkimiseen ja lisätty todellisuus (Augmented Reality) on lähes kokonaan rajattu tutkimuksen ulkopuolelle.

2 VIRTUAALITODELLISUUS

Tässä luvussa käsitellään eri lähteissä esiintyneitä virtuaalitodellisuuden määritelmiä. Määritelmien jälkeen käydään läpi virtuaalitodellisuuden kehitystä ja nykytilaa, käytettävissä olevia VR-laitteistoja sekä virtuaalitodellisuuden muotoja. Luvun lopussa tutustutaan myös käsitteisiin lisätty todellisuus, yhdistetty todellisuus ja virtuaalinen jatkumo.

2.1 Virtuaalitodellisuuden määritelmä

Virtuaalitodellisuus määritellään kirjallisuudessa monella tapaa. Steinicken (2016) määritelmän mukaan VR:llä tarkoitetaan kuvitteellista, mutta todentuntuista ympäristöä. Kyseessä on tietokoneella luotu digitaalinen ympäristö, joka on samaan aikaan vuorovaikutteinen ja reaaliaikainen. Vuorovaikutuksella tarkoitetaan, että käyttäjä voi esimerkiksi avata ja sulkea ovia sekä siirtää tilassa esiintyviä objekteja. Termin "virtual reality" teki ensimmäisen kerran tunnetuksi amerikkalainen tietotekniikan tutkija Jaron Lanier 1980-luvun lopussa. (Steinicke, 2016)

Jerald (2015) määrittelee kirjassaan termin "virtual" jonkun olemukseksi tai vaikutukseksi, joka ei kuitenkaan ole todellista ja termin "reality" paikaksi tai ominaisuudeksi, joka on olemassa ja se voidaan kokea. Koko termin "virtual reality" hän määrittelee keinotekoiseksi ympäristöksi, jossa tietokone tuottaa aistiärsyksiä ja ihmisen reaktiot määrittävät sen, mitä ympäristössä tapahtuu (Jerald, 2015, s. 9). Kuvassa 1 havainnollistetaan käyttäjän ja ympäristön vuorovaikutusta reaaliaikaisessa virtuaalitodellisuudessa.



KUVA 1 Virtuaalitodellisuus

Havainnollistava kuva VR-lasien käytöstä reaaliaikaisessa virtuaalitodellisuudessa

Shermanin ja Craigin (2003) mukaan käyttäjän mielikuvitus määrittelee virtuaalimaailman ja kuinka kyseisen virtuaalimaailman kokee. Ainoa rajoittava tekijä virtuaalimaailmassa on käyttäjän kyky kuvitella ja taito kommunikoida kokeestaan (Sherman ym., 2003). Kyseisen määritelmän mukaan VR:n kolme ominaisuutta ovat interaktiivisuus, reaaliaikaisuus ja tilallisuus. Brooks (1999) mukaan nämä ominaisuudet erottavat VR:n muista interaktiivisten virtuaaliympäristöjen muodoista.

Virtuaalitodellisuutta voidaan pitää onnistuneena, kun luotu ympäristö on sekä käyttökelpoinen että hyödyllinen aiotussa tarkoituksessaan. Virtuaalitodellisuuden arvioinnissa tarkastellaan järjestelmän helppokäyttöisyyden ja hyödyllisyyden lisäksi muita ominaisuuksia, kuten järjestelmän suoritusnopeutta, tarkkuutta, virheiden havaitsemista ja käyttäjäytyytyvää. (Hanna, Richards & Jacobson, 2012)

Koska virtuaalitodellisuus on vielä melko uusi teknologia, ei sitä koskevasta kirjallisuudesta löydy yhtenäistä määritelmää, vaan määritelmä vaihtelee eri lähteiden mukaan ja sitä voidaan pitää jatkuvasti muuttavana. VR:ää käytetään usein harhaanjohtavasti kuvaamaan myös virtuaalista maailmaa (eng. VR world) ja kybermaailmaa (eng. cyberworld) (Steinicke, 2016). VR-teknologia on suhteellisen uutta, ja uusia laitteita sekä käyttötarkoituksia kehitetään jatkuvasti. Joka tapauksessa virtuaalitodellisuus on uusi väline, jonka potentiaalinen saavuttaminen vie vielä aikaa.

2.2 Kehitys nykypäivään

Vaikka termin ”virtual reality” teki tunnetuksi Jaron Lanier 1980-luvulla, voidaan virtuaalitodellisuuden alkuperä jäljittää 1960-luvun puoliväliin Ivan Sutherlandin työn saavutuksiin laskennan ja virtuaalitodellisuusnäyttöjen parissa. Sutherlandin ajatuksena oli, että tietokoneen näyttö voisi luoda simulaation

fyysisestä maailmasta, jonka kanssa ihminen voisi olla vuorovaikutuksessa aistien avulla. Vuonna 1968 järjestetyssä tietokonekonferenssissa Sutherland esitteli, kuinka päähän kiinnitettävä kolmiulotteinen näyttö voidaan rakentaa käyttämällä asentoanturia ja tietokonegrafiikkaa kolmiulotteisen maailman luomiseksi. Tämän myötä tutkijaryhmä Utahin yliopistossa kehitti ensimmäisen toiminnallisen vuorovaikutteisen päähän kiinnitettävän näyttöjärjestelmän vuonna 1970. (Schroeder, 1993, s. 964)

Kuluttajien kiinnostus virtuaalitodellisuutta kohtaan nousi 1990-luvulla viihdeteollisuuden kautta. Steinicken (2016) mukaan käsikirjoittajat ja ohjaajat käyttivät 90-luvun elokuvissa ja kirjallisuudessa VR:ää kuvatakseen näkemyksiään ihmisten ja koneiden välisestä vuorovaikutuksesta tulevaisuudessa. Tunnetuimpana VR-aiheisena elokuvana voidaan pitää vuonna 1999 julkaistua *Matrixa*. Kyseinen elokuva kuvaa tulevaisuutta, jossa koneet alistavat ihmisjoukon simuloimalla maailmaa, jota ihmiset pitävät totena. Maailma on kuitenkin epätodellinen, ”*Matrixina*” tunnettu virtuaalimaailma. (Steinicke, 2016, s. 24)

1990-luvun alussa kuluttajien kiinnostus VR:ää kohtaan oli valtava ja kuluttajien saataville virtuaalitodellisuus tuli 1990-luvun alkupuolella, kun Jonathan D. Waldernin perustama Virtual Group PLC kehitti ja lanseerasi ensimmäiset VR-pelit (Steinicke, 2016, s. 6). Sen ajan VR ei kuitenkaan vastannut käyttäjien odotuksia ja kuluttajat joutuivat pettymään. Steinicken (2016) mukaan ongelmaksi koitui VR-järjestelmien alhainen resoluutio ja käytön hitaus. Lisäksi VR-pelejä oli rajoitetusti saatavilla ja ne olivat laadultaan heikkoja. Esimerkkinä epäonnistuneesta VR-hankkeesta voidaan pitää Nintendon Virtual Boy:ta. Virtual Boy oli ensimmäinen kannettava 3D-pelikonsoli, joka lanseerattiin vuonna 1995. Se kykeni näyttämään stereoskooppisia 3D-grafiikoita, jotka perustuvat punaiseen LED-okulaarin näyttötekniikkaan. Edullisesta hinnastaan ja mainoskampanjoista huolimatta, Virtual Boy oli kuitenkin kaupallinen epäonnistuminen ja Nintendo lopetti sen tuotannon ja myynnin jo seuraavana vuonna. VR-laitteistot eivät olleet vielä valmiita kuluttajien kotikäyttöön ja aikaisemmin synonyyminä tulevaisuudelle toiminut VR menetti kuluttajien mielenkiinnon 1990-luvun lopussa. (Steinicke, 2016, s. 6) Epäonnistumisista huolimatta, ensimmäisiä saavutuksia VR:n alueella voidaan kuitenkin pitää merkittävinä, sillä suurin osa niistä oli tehty useita vuosia ennen tietokoneen keksimistä.

2000-luvulla älypuhelimien kehitys mahdollisti kevyiden ja käytännöllisten VR-laitteiden syntymisen. VR-tekniikka oli myös huomattavasti halvempaa, mitä se oli 1990-luvun alkupuolella ja videopeliteollisuus oli jatkanut VR:n kehitystä kuluttajaystävällisemmäksi. 2010-luvulla monet kuluttajille tarkoitetut laitteet tulivat markkinoille, joista ensimmäisenä Oculus VR:n kehittämä Oculus Rift. Facebook osti Oculus VR:n 2,3 miljardilla dollarilla vuonna 2014. Kyseinen kauppa korosti maailmanlaajuisesta kiinnostuksesta VR-tekniikkaan ja monet VR-harrastajat olivat vakuuttuneita siitä, että tällä kertaa tekniikka tulee vastaamaan 1990-luvulla annettuihin lupauksiin. Vuonna 2016 VR-laitteet olivat helposti kuluttajien saatavilla ja uusia laitteita tuli markkinoille jatkuvasti. Kyseistä vuotta kutsuttiin ”virtuaalitodellisuuden vuodeksi”. (Steinicke, 2016, s. 31)

2.3 Markkinoilla olevat VR-laitteistot ja sisällön tuotto

Virtuaalitodellisuutta on monenlaista ja eniten sitä hyödyntävät erilaiset VR-pelit sekä 360-kuvat ja 360-videot. Tunnetuimpia virtuaalitodellisuudessa käytettyjä välineitä ovat virtuaalitodellisuuslasit (head-mounted display eli HMD). VR:n kehittyessä on myös syntynyt paljon eri tyyppisiä näyttöjä VR:n tarkasteluun, kuten Cave-luola ja tietokoneen näytöiltä tarkasteltava virtuaalitodellisuus (Brooks 1999). Teknologisesta näkökulmasta katsottuna VR voidaan jakaa immersiiiviseen ja ei-immersiiiviseen. VR on immersiiivistä, kun käyttäjä on vuorovaikutuksessa VR:n kanssa päähän kiinnitettävällä näytöllä (HMD) ja käyttäjä seurataan paikantunnistimella, tai ei-immersiiivistä, jos HMD on korvattu ulkoisella näytöllä. (Gorini, Capideville, Mantovani & Riva, 2011) Tässä luvussa käydään läpi eri VR-laitteita ja tutustutaan myös tarkemmin laitteiden teknologiaan ja siihen, miten virtuaalitodellisuus toimii.

2.3.1 VR-lasit

Nykypäivän kuluttajateknologiassa virtuaalitodellisuutta käytetään päähän kiinnitettävällä näytöllä stereoskooppisten 3D-kohtausten katselemiseen. Virtuaalitodellisuuslasien avulla käyttäjä voi katsoa ympärilleen liikuttamalla päätä ja liikkua kädessä pidettävien ohjainten tai liiketunnistimien avulla. Virtuaalitodellisuuslasit voivat muistuttaa nimensä mukaisesti laseja tai olla koko pään peittämä virtuaalikypärä. Ensimmäiset virtuaalitodellisuuslasit tulivat kuluttajien tietoisuuteen 1960-luvulla, kun Ivan Sutherland esitteli opiskelijansa Bob Sproullin kanssa ensimmäisen HMD-järjestelmän, jonka avulla käyttäjä oli mahdollista upottaa visuaalisesti simuloituun 3D-ympäristöön. Tietokoneella luodut kehysmallit lisäsivät näkymää todelliseen maailmaan, ja käyttäjä kykeni liikkumalla muuttamaan sijaintiaan ja näin kokemaan erilaisia näkymiä (Steinicke, 2016, s. 27).

Tällä hetkellä markkinoilta löytyy useita erilaisia virtuaalitodellisuuslaseja eri hintaluokista ja eri käyttötarkoituksiin. Linowesin (2015) mukaan virtuaalitodellisuuslasit voidaan jakaa kahteen kategoriaan – tietokoneeseen liitettäviin laseihin (desktop VR) ja älypuhelimeen liitettäviin laseihin (mobiili VR).

2.3.2 Tietokoneeseen liitettävät lasit

Kaikista todenmukaisin virtuaalielämys saadaan tietokoneeseen tai pelikonsoliin kytkettävillä virtuaalilaseilla. Tässä tapauksessa tietokone pyörittää peliä ja lasit toimivat virtuaalitodellisuusnäyttönä ja liikkeentunnistajana. Oculus Rift (kuva 2., s. 12) on esimerkki virtuaalilaseista, jotka mahdollistavat käyttäjän sijainnin ja liikkeen tunnistamisen (positional tracking) sekä käsien käytön VR-kokemuksen aikana. Sijainnin seuranta ja laadukkaat grafiikat vaativat kuitenkin tietokoneelta paljon tehoa, ja siksi käyttäjien tulisi noudattaa valmistajien asettamia minimivaatimuksia tietokoneiden teholle. Kuva VR-laseihin lähete-

tään tietokoneesta tai pelikonsolista HDMI-kaapeleiden avulla. Muita tietokoneeseen liitettäviä laseja ovat muun muassa HTC:n Valve Vive ja Sony'n PlayStation VR. (Linowes, 2015, s. 4)



KUVA 2 Oculus Rift VR-lasit
(Argos, 2020)

2.3.3 Älypuhelimeen liitettävät lasit

Langattomat mobiilivirtuaalilasit, kuten Google Cardboard (kuva 3., s. 13), on esimerkki yksinkertaisista VR-laseista, jossa älypuhelin laitetaan pahvilasien sisään ja yhteensopivat sovellukset heijastavat kolmiulotteisen kuvan puhelimen näytöltä katsojalle. Puhelimen näyttöä käytetään näyttämään kaksoistereografisia näkymiä. Pahviset lasit hyödyntävät puhelimen näyttöä, gyroskooppia ja liikesensoreita eivätkä lasit sisällä lainkaan omaa tekniikkaa. Tämän takia mobiilivirtuaalilasit eivät kykene seuraamaan käyttäjän sijaintia tai liikettä. Mobiilivirtuaalilaseja eikä puhelinta ole optimoitu VR:n käyttöön, joka on havaittavissa heikkona kuvan laatuna ja viiveenä päätä käännettäessä. (Linowes, 2015, s. 5) Joka tapauksessa Cardboard on tarkoitettu edulliseksi ja helpoksi aloittelijoiden laitteeksi virtuaalitodellisuuden pääsyyn, jolloin virtuaalitodellisuuden laadusta joudutaan tinkimään.



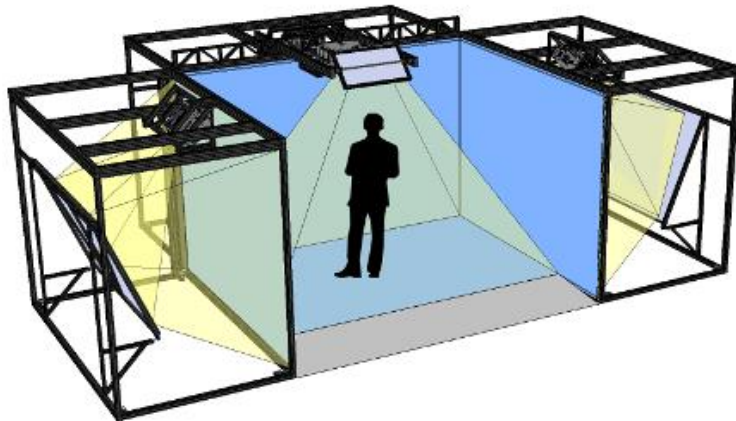
KUVA 3 Googlen Gardboard VR-lasit
(Store Google, 2020)

2.3.4 Virtuaalitodellisuusnäytöt

Virtuaalitodellisuuden katselu onnistuu VR-lasien lisäksi myös tietokoneen näytöltä tai laajakankaalle heijastaen. Erilliset näytöt mahdollistavat useamman käyttäjän osallistumisen virtuaalitodellisuuden tarkasteluun, jolloin osallistujat voivat olla samaan aikaan reaaliaikaisessa vuorovaikutuksessa käyttämällä tietokoneitaan tai tarkastelemalla virtuaalitodellisuutta suuremmalta näytöltä. Suurimpana erona virtuaalitodellisuusjärjestelmien ja tietokoneennäytön avulla esitetyn virtuaalitodellisuuden välillä on, että jälkimmäisessä tavassa ei tarvita VR-laseja. Virtuaalitodellisuuden katselu onnistuu siis tavallisellakin tietokoneella kaksiulotteisesti, jolloin tarkasteltavia kuvia ja videoita voi käänellä haluamaansa kuvakulmaan tietokoneen hiiren avulla. (Sharples, Cobb, Moody & Wilson, 2008)

2.3.5 Cave

Kun VR-järjestelmä käyttää suurta kaarevaa 3D-näyttörüutua tai tasonäytöt ympäröivät käyttäjää, kutsutaan järjestelmää ympäröiväksi näyttöjärjestelmäksi (Ohno & Kageyama, 2007). Vuonna 1992 Cruz-Neira ym. esittelivät yhden menestyneimmistä ympäröivistä VR-järjestelmistä, Cave:n (cave automatic virtual environment) (kuva 4., s. 14) (Steinicke, 2015, s. 6). Cave:ssa käyttäjä toimii huoneessa, jossa yksi tai useampi pinta (esim. seinät, lattia ja katto) toimivat näyttöinä. Kaikille luolan näytöille heijastetaan projektoreilla tietokoneen simuloima näkymä ja näin luodaan virtuaalitila, joka ympäröi käyttäjää siten, että yhdessä ne tarjoavat käyttäjälle saumattoman virtuaalinäkymän. Näyttöjen kuvat ohjataan automaattisesti katsojan sijainnin ja katselusuunnan perusteella reaaliajassa. Cave:ssa käyttäjän ei tarvitse käyttää virtuaalilaseja havaitakseen ympäristöä, vaan käyttäjällä on käytössään ohjaussauva, jonka avulla käyttäjä voi tehdä haluamiaan valintoja. (Ohno ym., 2007)



KUVA 4 Cave-tila
(Visbox, 2020)

2.4 VR-laitteiden haasteet ja ongelmat

Onnistuneen VR-kokemuksen kannalta tärkeää on, että käyttäjä tuntee olevansa jatkuvasti läsnä virtuaalisessa ympäristössä. Jotta jatkuva immerstiivinen läsnäolo saavutetaan, on virtuaalilaitteiden valmistajilla vielä monia ongelmia ja haasteita ratkaistavanaan. Näitä ovat muun muassa virtuaalilasien näyttöjen tarkkuus, laitteiden langattomuus ja laskentateho, hinta, akunkesto sekä pahoinvointi (Steinicke, 2015, s. 47).

Vielä muutama vuosi sitten VR:n haasteet perustuivat parempien laitteistojen kehittämiseen, erityisesti seurantajärjestelmien ja näyttölaitteiden parantamiseen. Vaikka VR-teknologia on kehittynyt viime vuosina huomattavasti, näiden haasteiden kanssa kamppaillaan yhä. Näyttötekniikan täytyy kehittyä, jotta kuvatarkkuus vastaisi ihmisen verkkokalvon resoluutiota, ja jotta kohtauokset näyttäisivät ja muuttuisivat samalla tavalla kuin todellisessa maailmassa. Näytön tulisi myös olla tarpeeksi leveä ja valaistuksen ja varjojen tarpeeksi todenmukaisia, jotta illuusio todentuntuudesta ympäristöstä säilyisi. (Steinicke, 2015, s. 47)

Toinen haaste VR-laitteiden kehittäjille on luoda järjestelmä, jota pystytään käyttämään langattomasti. Langattomien lasien avulla käyttäjät voisivat liikkua ja olla vuorovaikutuksessa ympäristön kanssa vapaammin. Ilman hyvin suunniteltua laitteistoa, käyttäjällä voi olla myös vaikeuksia tasapainon hallinnassa tai hän voi kokea virtuaalipahoinvointia, jotka voivat aiheutua epäorgaanisuudesta, sovelluksista, kuvataajuudesta sekä tehottomasta tietokoneesta. (Mandal, 2013)

Kriittinen ongelma nykyisen VR-teknikan suhteen on käyttäjien kokema pahoinvointi. Käyttäjien pahoinvointia ilmenee sekä VR-kokemuksen aikana

että sen jälkeen. Naisten on myös todettu kokevan pahoinvointia miehiä herkemmin. (Mourant & Thattacherry, 2000) Jotkut ihmiset voivat viettää virtuaaliympäristössä tuntikausia ilman mitään vaikutuksia, kun taas toiset saattavat oireilla jo minuutin kuluttua. Pahoinvointi johtuu käyttäjän aistien ristiriitaisesta informaatiosta. Virtuaalimaailmassa käyttäjä voi kokea esimerkiksi nopeaa liikettä, vaikka todellisuudessa käyttäjä seisookin paikoillaan. Tällöin käyttäjän näköaisti on siis ristiriidassa tasapainoaistin kanssa. (Mourant ym., 2000) VR-lasien on todettu aiheuttavan enemmän pahoinvointia, kuin muiden VR-laitteiden. (Sharples ym., 2008).

Koska nykyinen VR-teknologia on hyvin uutta, ei sen pitkän aikavälin vaikutuksista tiedetä vielä kovinkaan paljoa. Erityisesti VR:n vaikutuksista lapsien kehitykseen ei ole tarpeeksi tutkittu. Johtavimmat VR-lasien valmistajat ovatkin tästä syystä asettaneet VR-lasien käytölle ikäsuosituksia. (Steinicke, 2016, s. 48)

2.5 Muita todellisuuden muotoja

2.5.1 Lisätty todellisuus

Lisätty todellisuus tunnetaan lyhenteellä AR (Augmented Reality). Sillä tarkoitetaan virtuaalisten asioiden yhdistämistä todelliseen näkymään. AR on reaaliaikainen kuva fyysisestä todellisesta ympäristöstä, johon on lisätty virtuaalisia, tietokoneella tuotettuja elementtejä. Kyseisen videomanipulaation avulla luodaan vaikutelma näiden elementtien kuulumisesta todellisesti kuvattuun ympäristöön. (Dunston, Wang, Billingham & Hampson, 2003)

Virtuaalitodellisuus ja lisätty todellisuus sekoitetaan usein keskenään. Toisin kuin virtuaalitodellisuudessa, jossa tarkoituksena on upottaa käyttäjä virtuaalimaailmaan näkemättä todellista maailmaa, on AR-tekniikan tavoitteena saada käyttäjä tuntemaan virtuaalisesti luotujen elementtien esiintyminen todellisessa ympäristössä. AR voi mahdollisesti koskea kaikkia aisteja, sillä tekniikan avulla siihen voidaan lisätä hajuja, kosketusta ja ääniä. Lisättyä todellisuutta voidaan käyttää myös piilottamaan aiemmin näkyvissä olleita asioita. (Furht, 2011)

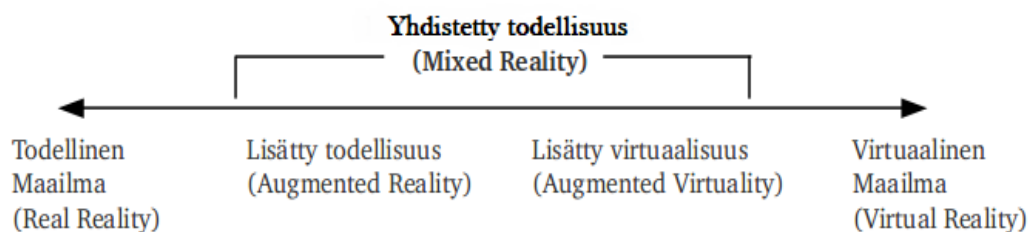
AR:n suurimpina etuina pidetään yhteistyön helppoutta, intuitiivista vuorovaikutusta ja digitaalisen tiedon integrointia. AR mahdollistaa käyttäjän työskentelyn todellisessa ympäristössä samalla, kun hän vastaanottaa visuaalisesti lisätietoja tietokoneella tuotetusta tai mallinnetusta tiedosta. Lisättyä todellisuutta hyödynnetään myös rakennusteollisuudessa. AR voi lisätä todelliseen maailmaan virtuaalisia elementtejä, jotka voidaan yhdistää konkreettisiin rajapintoihin ja näin ollen se tarjoaa suuria etuja esimerkiksi arkkitehtuurissa ja kaupunkisuunnittelussa (Seichter & Schnabel, 2005).

2.5.2 Virtuaalinen jatkumo ja yhdistetty todellisuus

Erilaiset todellisuudet ovat lisänneet mielenkiintoa sekä yleistyneet teknologisen kehityksen myötä. Yhdistettyä todellisuutta (Mixed Reality) voidaan pitää vähemmän tunnettuna todellisuuden muotona ja sen määrittelyssä esiintyy monenlaisia tulkintoja. Yhdistetystä todellisuudesta on käytössä myös termit monimuotoinen todellisuus ja sekoitettu todellisuus (Milgram & Kishino, 1994).

Vuonna 1994 Milgramin kehitti virtuaalisen jatkumon (kuva 5., s. 16) kuvaamaan eri todellisuuksien välisiä suhteita. Tämän jatkumon mukaan yhdistettyyn todellisuuteen kuuluu kaksi luokkaa: lisätty todellisuus (Augmented Reality, AR) ja lisätty virtuaalisuus (Augmented virtuality, AV), mutta rajat eri todellisuuksien välillä ovat kuitenkin häilyviä. (Milgram & Colquhoun, 1999) Vaikka Milgramin jatkumon esittelystä on kulunut aikaa, voidaan sitä pitää edelleen relevanttina, sillä yksinkertaisuudellaan ja selkeydellään se auttaa hahmottamaan rajapinnat eri todellisuuksien välillä sekä ymmärtämään todellisuuden ja virtuaalisuuden eroavaisuuksia.

Jatkumon avulla erilaiset tietokonerajapinnat voidaan sijoittaa jatkuvuuteen sen mukaan, kuinka suuri osa käyttäjän ympäristöstä on tietokoneella luotua. Virtuaalisessa jatkumossa todellinen, fyysinen maailma sijoittuu janan toiseen päähän ja virtuaalitodellisuus ja digitaalinen maailma taas toiseen. Jatkumon vasemmassa laidassa sijaitseva reaali maailma määrittelee kaiken ympäristön, joka sisältää todellisia, käsin kosketeltavia asioita ja esineitä fyysisestä maailmasta. Oikeassa laidassa sijaitsevat virtuaaliset ympäristöt on rakennettu täysin virtuaaliobjekteista, joista esimerkkejä olisivat tavanomaiset tietokonegrafiikkasimulaatiot. Todellisuuden ja virtuaalisen ympäristön väliin jäävät lisätty todellisuus ja lisätty virtuaalisuus hyödyntävät esineitä ja asioita sekä virtuaalisesta että todellisesta ympäristöstä. (Milgram ym., 1999)



KUVIO 5 Yhdistetyn todellisuuden (Mixed Reality, MR) jatkumo (mukaiillen Milgram ym., 1994)

Yhdistetty todellisuus (Mixed Reality, MR) yhdistää siis todellisen sekä virtuaalisen ympäristön kattamalla kaikki todellisuuden muodot näiden ympäristöjen välillä (Milgram ym., 1994). Yhdistettyä todellisuutta on sovellettu suunnittelukäytäntöjen parantamiseksi, sillä se tarjoaa uusia mahdollisuuksia vuorovaikutukseen suunnittelutiedon ja yhteistyökumppaneiden välillä. Esimerkiksi vuonna 2004 Schnabel, Kvan, Kuan ja Li esittelivät suunnitteluprosessin, jossa suunnittelua tehtiin reaali maailman ja virtuaali maailman välillä suunnittelun kehittämiseksi ja kommunikoimiseksi. Suunnitelmat luotiin siirtymällä todelli-

sesta ympäristöstä laajennettuun ja virtuaaliseen ympäristöön, jolloin suunnittelijat kykenivät sekoittamaan todellisuuksia sopivaksi katsomallaan tavalla (Schnabel, Wang, Seichter & Kvan, 2007).

3 VIRTUAALITODELLISUUS RAKENNUSPROSESSIN TYÖKALUNA

Tutkielman toisessa osassa tutustutaan rakennusalaan ja pohditaan alan nykytilannetta. Tämän jälkeen tarkastellaan virtuaalitodellisuuden tämänhetkistä hyödyntämistä rakennusalalla ja pohditaan mitä lisäarvoa VR:n avulla voidaan saavuttaa.

3.1 Rakennusala ja VR-tekniikan tilanne

Rakennusteollisuus on merkittävä toimiala Suomessa. Yhdessä kiinteistöalan ja oheispalveluiden kanssa se työllistää yli puoli miljoonaa ihmistä, ollen Suomen suurin työllistäjä. Rakentaminen tunnetaan hyvin suhdanneherkkänä alana, jolloin työllisyyden määrä vaihtelee voimakkaasti suhdanteiden myötä. Rakennusalan työttömyyteen vaikuttaa myös alan kausiluonteisuus, jolloin työttömyysaste vaihtelee vuoden aikojen mukaan. (Rakennusteollisuus, 2020) Rakennusteollisuus on projektikeskeinen, monimutkainen ja erittäin hajanainen ala, ja se kattaa laajan joukon yrityksiä pk-yrityksistä monikansallisiin yrityksiin (Woksepp, 2007).

Liiketoiminnan digitalisaatio nähdään tulevaisuuden keskeisenä menestystekijänä toimialasta riippumatta. Digitalisaatiolla tarkoitetaan digitaalitekniikan käyttöä, joka tarjoaa mahdollisuuksia täysin uusien liiketoimintamallien kehittämiseen. Digitalisaatio tehostaa prosesseja, tuo säästöjä kustannuksiin ja lisää eri prosessien läpinäkyvyyttä ja näin helpottaa eri toimijoiden välistä yhteistyötä. (Bloomberg, 2018) Tekniikan hyödyntäminen nähdään merkittävänä osana digitalisaatiota ja sitä käytetään myös rakennusteollisuudessa entistä enemmän suunnittelu-, johto-, myynti-, markkinointi- ja esittelytarkoituksissa. Digitalisaatio on luonut rakennusteollisuudelle täysin uudenlaisia mahdollisuuksia

Vaikka rakennusala hyödyntääkin erilaisia digitalisaation luomia teknologioita, ei rakennusalan työn tuottavuus ole kuitenkaan kasvanut viimeisten 40

vuoden aikana. Wokseppin (2007) mukaan kyseinen ilmiö voidaan selittää rakennusteollisuudesta puuttuvalla tehokkaalta suunnittelualustalta, joka suunnittelu- ja rakennusvaiheessa kerää ja uudelleen käyttää tuotettua tietoa. Rakennusalalla ei myöskään ole mahdollista kokeilla erilaisia vaihtoehtoja ja ratkaisuja suunnitteluvaiheessa, joka tekee rakentamisesta hyvin riskialtista toimintaa. Rakennusprosessia voidaankin pitää kokeellisena prosessina, jota ohjaa erilaiset suunnitelmatiedot ja luonnokset. Usein perinteiset suunnitelmat kuitenkin sisältävät paljon puutteellisuuksia ja mahdollisia virheitä, jotka ilmenevät hankkeiden viivästymisinä ja kustannusten ylityksinä. (Woksepp, 2007)

Vuosien ajan rakennuksia, tuotantolinjoja ja tuotantolaitoksia on suunniteltu hyödyntäen erikoistuneita suunnitteluohjelmistoja, kuten tietokoneavusteista suunnittelua (CAD) ja rakennustietojen mallintamista (BIM) (Kunz Zank, Fjeld & Nescher, 2016). Kunzin ym. (2016) mukaan kyseiset järjestelmät tarjoavat hyvän tuen suunnittelijoille ja arkkitehdeille rakennushankkeiden suunnitteluun, mutta ne eivät kykene huomioimaan suunnittelun inhimillisiä tekijöitä. Tällaisia inhimillisiä tekijöitä ovat esimerkiksi huoneen koon ja etäisyyksien havaitseminen, tilan koettu mukavuus ja tilan alueelliset rajoitukset (Kunz ym. 2016). Virtuaalitodellisuuden avulla myös inhimilliset tekijät pystytään huomioimaan jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa.

Virtuaalitodellisuus on kuitenkin levinyt hitaasti rakennusteollisuuden käyttöön. Wokseppin (2007) mukaan tämän selittää osittain uuden tekniikan mahdollistavien laitteistojen ja ohjelmistojen korkeat kustannukset ja uuden teknologian omaksumisen haasteellisuus. Rakennusala tunnetaan myös vanhoisena ja hitaasti muuttuvat alana, mikä luo omat haasteensa uusien järjestelmien ja teknologioiden käyttöönottoon (Woksepp, 2007). Wokseppin, Jongelingin ja Olofssonin (2005) mukaan virtuaalitodellisuuden käyttö rakennusteollisuudessa painottuu lopputuloksen visualisointiin. Tämän lisäksi virtuaalitodellisuutta käytetään eri suunnitteluvaihtoehtojen tutkimiseen, rakennustoiminnan stimulointiin, suunnittelun kommunikointiin ja mahdollisten päällekkäisyyksien ja virheiden havaitsemiseen.

3.2 Rakennushankkeen virtuaalinen suunnittelu

Verrattuna perinteisiin visualisointityökaluihin, VR-tekniikka vie visualisoinnin pidemmälle, sillä se antaa mahdollisuuden kulkea ja nähdä rakennuskohde sellaisena kuin se tulisi esiintymään todellisessa ympäristössään. VR:n etuina mainitaan usein kustannusten vähentyminen, riskien minimointi ja sidosryhmien välisen viestinnän tehostuminen. VR:n kehityksestä ja sen käytöstä rakennusteollisuudessa on nähty olevan paljon hyötyä käyttäjille. (Whyte, 2003)

Rakennussuunnittelua voidaan pitää rakennushankkeen kriittisenä vaiheena, joka määrittelee hankkeen onnistuneen toteutuksen ja lopputuloksen (Li ym., 2008). Monet rakennusalan prosessit noudattavat peräkkäisiä toimintaketjuja ja suunnittelutietoina on edelleen käytössä perinteiset asiakirjat, kuten 2D-piirrustukset ja kirjallisessa muodossa olevat tiedot suunnitelmista. Tämän

tyyppisiä prosesseja voidaan pitää hitaina ja virheille alttiina. Perinteisiä suunnitteluprosesseja hyödyntävä organisaatio ei kykene toiminnallaan tehokkaisiin rakennusprosesseihin. (Woksepp, 2007)

Perinteiseen mallintamiseen verrattuna virtuaalitodellisuutta hyödyntävät suunnitelmat ovat helpommin integroitavissa suunnittelunprosessiin. Virtuaaliset suunnitelmat kykenevät myös käsittelemään kaikkia rakennuksen elinkaaren vaiheita, sekä pienentämään tuotekehityksen ja -suunnittelun kustannuksia. Lisäksi kyky vastata asiakkaan vaatimuksiin parantuu. (Woksepp ym., 2005)

3.2.1 Virtuaalinen prototyyppi

Virtuaalisella prototyypillä eli digitaalisella pienoismallilla tarkoitetaan fyysisen tuotteen luomista tietokoneen avulla. Rakennushankkeen virtuaalisessa suunnittelussa perinteiset pienoismallit korvataan virtuaalisilla malleilla. Virtuaalimallit mahdollistavat kohteen esittelyn luonnollisessa koossa, sekä muutosten tekeminen virtuaalimalliin on huomattavasti yksinkertaisempaa ja edullisempaa kuin perinteiseen 2D-malliin. Perinteiset fyysiset mallit ovat myös kalliita, monimutkaisia ja hitaita rakentaa, ja usein mallinnuksessa on kyseessä vain projektin lopputuloksen esittämisestä. Virtuaalimallit mahdollistavan suunnitelman esittelyn, analysoinnin ja testauksen hankkeen elinkaaren eri vaiheissa, kuten suunnittelu- ja valmistusvaiheessa. (Woksepp ym., 2005) Verrattuna perinteiseen prototyyppien muotoiluun, virtuaalisten prototyyppien yhdistäminen on helpompaa suunnitteluprosessissa, jolloin suunnitelman luomisen ja käytön välinen aika lyhenee. Tuotekehityksen kustannukset vähenevät, kyky vastata asiakkaiden vaatimuksiin ja asiakkaan osallistaminen mukaan suunnitteluun paranevat. Virtuaalinen mallinnus voi sisältää myös kohteen ympäristön mallintamisen, jota voidaan käyttää hankkeen ulkoasun tutkimiseen ja rakennuskelpoisuuden tarkistamiseen (Li ym., 2008).

Virtuaalinen prototyyppimallintaminen rakennusalalla nähdään kuitenkin rajoitettuna, sillä jokainen rakennusprosessi on ainutlaatuinen työmaan olosuhteiden, vaatimusten ja rajoitusten suhteen (Woksepp, 2007). Wokseppin (2007) mukaan yhden mallin soveltaminen sellaisenaan kaikkiin rakennusprosesseihin on mahdotonta.

3.2.2 Virtuaalitodellisuus arkkitehtien ja rakennesuunnittelijoiden apuna

Arkkitehdit omaksuivat alun perin virtuaaliset ympäristöt suunnittelukonsepttien esittelyyn (Portman ym., 2015). Schnabelin ym. (2007) mukaan virtuaaliympäristöt ovat mahdollistaneet suunnittelijoiden ilmaista ja tutkia mielikuvitustaan entistä helpommin tarjoamalla arkkitehdeille alustan, jonka avulla on mahdollista kokeilla eri vaihtoehtoja ennen hankkeen rakentamisen aloittamista. Sen lisäksi, että VR-tekniikka mahdollistaa virtuaalisten kokonaisuuksien lisäämisen reaali maailmanäkymiin, se parantaa yhteistyötä suunnittelutiimien jäsenten välillä (Schnabel ym., 2007). Tehokas yhteistyö arkkitehtuurin varhaisessa suunnittelussa on edellytys tehokkaalle kokonais suunnittelulle ja raken-

tamiselle. Tämän tyyppisillä sovelluksilla voidaan parantaa sekä suunnittelijoiden että suunnittelijoiden ja asiakkaiden välistä yhteistyötä ja kommunikointia (Viet ym., 2009). Lisäksi VR:n avulla suunnittelijat voivat toimia hajautettuina tiimeinä. Tämä tarkoittaa, että varsinaiset työmaakokoukset rakentajien, asiakkaiden ja yhteistyökumppaneiden kanssa helpottuvat, kun kokoukset eivät vaadi fyysistä läsnäoloa, vaan ne voidaan järjestää virtuaalisesti etäyhteydellä. (Portman ym., 2015)

Hankkeen virtuaalinen esittäminen auttaa hahmottamaan kohteen lopputulosta ja tilojen todellista kokoa. Suunnitelman virtuaalinen esittäminen voi auttaa rakentavaa osapuolta muuttamaan tarjousmateriaalit helposti ymmärrettäväksi visuaaliseksi materiaaliksi, joita asiakas voi arvioida ja valita parhaan tarjouksen (Li ym., 2008). Näin ollen virtuaalitodellisuuden avulla toteutettu visualisointi voi myös nopeuttaa erilaisia rakennuslupa- ja kaavoitusprosesseja.

3.3 Virheiden havaitseminen

Suurin seuraus perinteistä 2D-suunnittelua käyttäen on rakentamisvirheet, joita kohdataan rakennusprosessin aikana. Tässä tapauksessa rakennusvirheillä tarkoitetaan tuotantovaiheessa havaittuja poikkeavuuksia, joista sopimusaisakirjoissa on sovittu. Augustsson ym. (1989) arvioivat, että rakennusvirheistä aiheutuneet kustannukset ovat noin 6% rakennushankkeen kokonaiskustannuksista. Josephsonin (1990) mukaan tätä lukua voidaan pitää aliarvioituna ja hän lisää vielä 4% virheiden korjaamiseen. Tämä nostaa rakennusvirheiden summaksi 10% hankkeen kokonaiskustannuksista. (Woksepp, 2007) Rakennusvirheistä syntyneiden kustannusten perusteella voidaan todeta, että suunnitteluprosessilla on suuri merkitys lopputuloksen onnistumiselle ja kustannussäätöille.

Suurin osa rakennuksen elinkaaren ominaisuuksista ja kustannuksista sitoutuu jo suunnitteluvaiheessa, ja mahdollisuus vaikuttaa lopullisiin kustannuksiin heikkenee nopeasti, kun muutosten tekemisestä tai suunnitteluvirheiden korjaamisesta aiheutuneet kustannukset nousevat jatkuvasti. (Woksepp, 2007) Virtuaalitodellisuus mahdollistaa suunnitteluvaiheessa olevien kohteiden tutkimisen luonnollisessa mittakaavassa jo ennen rakentamisen aloittamista. Näin virheet ja ristiriidat voidaan helposti tunnistaa jo projektin varhaisessa vaiheessa, jolloin löydetyt ongelmakohdat ovat edullisempaa korjata kuin lähteä muuttamaan jo valmistunutta rakennetta. Projektin koon kasvaminen tai suunnitelman mahdollinen uudelleenkäyttö tekevät virtuaalitodellisuuden hyödyntämisestä houkuttelevampaa. Erityisesti suurissa projekteissa, kuten kauppakeskusten, lentokenttien ja sairaaloiden rakentamisessa virtuaalitodellisuuden hyödyntäminen koetaan erityisen tarpeellisenä. (Whyte, 2003)

3.4 Vuorovaikutus ja asiakaslähtöisyys

Tyypilliselle rakennusprojektille on ominaista lyhytaikainen yhteistyö eri alan toimijoiden välillä, jolloin osapuolten kommunikoinnilla on merkittävä rooli hankkeen onnistumisessa. Rakennushanke sisältää paljon erilaisia suunnittelu- ja rakennusprosesseja, joissa on mukana asiakkaat, suunnittelijat, materiaalien ja tavaroiden toimittajat ja hankkeen urakoitsijat. (Whyte, 2003) Virtuaalitodellisuutta voidaan pitää kommunikaatiovälineenä, joka tarjoaa apua soveltumalla hyvin rakennussuunnitteluun ja rakentamisessa tarvittavien prosessien yhteistyön ja ymmärtämisen helpottamiseen (Woksepp ym., 2005).

Rakentaminen on yhteistoimintaa ja ihmisten välistä vuorovaikutusta, jonka tarkoituksena on luoda arvoa asiakkaalle. Usein asiakas kuitenkin nähdään ulkopuolisena toimijana suunnitteluprosessissa. (Whyte, 2003) Virtuaalitodellisuus mahdollistaa asiakkaan osallistumisen hankkeen suunnitteluun helpottaen asiakkaan päätöksentekoa sekä auttamalla asiakasta varmistamaan jo projektin alkuvaiheessa, että tilat ovat toiminnalliset ja kohteen ilme vastaa asiakkaan toiveita. VR:n avulla asiakkaan ideat ja ajatukset tulevat myös paremmin ymmärretyksi. Aito vuorovaikutus asiakkaan ja rakennuttajan välillä luo projektille ja asiakkaalle enemmän arvoa ja mahdollistaa asiakkaan tyytyväisyyden projektin lopputulokseen. Paremmat suunnitelmat ja ihmisten välinen ymmärrys takaavat rakennushankkeen aikataulussa pysymisen, kustannussäästöt sekä laadullisesti onnistuneen lopputuloksen.

Asiakaslähtöistä suunnittelua on hyödynnetty esimerkiksi sairaaloiden suunnittelussa. Virtuaalitodellisuuden avulla sairaalan työntekijät voivat vapaasti liikkua suunnitelmassa ja tarkastella näin tilojen toiminnallisuutta. Virtuaalitodellisuuden avulla sairaalan työntekijät ovat päässeet vaikuttamaan arkkitehdin suunnitelmiin, jolloin muutosten aiheuttamilta kustannuksilta on välttytty ja sairaala on kyetty suunnittelemaan mahdollisimman tehokkaasti kaikki neliöt hyödyntäen. VR avulla myös vuoropuhelu arkkitehtien ja muiden suunnittelijoiden kanssa helpottuu, kun yhteinen suunnitelma voidaan jakaa virtuaalitodellisuuden kautta. Tämä käytäntö antaa terveydenhuollon ammattilaisille ja henkilöstölle mahdollisuuden tarjota kohdennettua palautetta suunnittelusta perustuen mahdollisuuteen kokea realistinen esitys suunnittelukonseptista. Samalla kun työntekijät ovat voineet vaikuttaa tilojen suunnitteluun, ovat tilat tulleet työntekijöille virtuaalitodellisuuden avulla jo tutuiksi. Virtuaalitodellisuus tarjoaa tehokkaan keinon päästä yksimielisiin päätöksiin terveydenhuollon henkilöstön, suunnittelijoiden ja rakennusurakoitsijoiden kesken eri sairaalayksiköiden ja -paikkojen suunnittelusta. (Dunston, Arns, Mcglothlin, Lasker & Kushner, 2011) Käyttäjien osallistaminen suunnitteluun mahdollistaa parhaiden toimintamallien löytämisen.

3.5 Virtuaaliset asunonäytöt

Virtuaalitodellisuusteknologiaa hyödynnetään yhä enemmän myös kiinteistövälityksessä. Perinteiset asunonäytöt tuskin tulevat täysin katoamaan, mutta virtuaalitodellisuuden myötä asuntomarkkinointi tulee mahdollisesti muuttumaan. Virtuaalitodellisuuden myötä asuntoihin tutustuminen ja asuntokauppojen tekeminen eivät ole enää ajasta tai paikasta riippuvaista.

Virtuaalitodellisuuden avulla asiakas voi tarkistella malliasunnon sisä- ja ulkotiloja, vaikka hän ei olisikaan malliasunnossa (Kim, 2015). Se tarjoaa asiakkaalle visuaalista materiaalia asunnosta pohjapiirrosten rinnalle ja mahdollistaa asiakkaiden pääsyn tutustumaan kohteisiin jo niiden suunnitteluvaiheessa. ”Virtuaalimatkat” asuntoihin antavat potentiaaliselle ostajalle paremman käsityksen kiinteistöstä käyttämättä aikaa, jota tarvitaan vierailuun kiinnostavissa kohteissa. Lisäksi VR helpottaa asiakkaan ostopäätöstä, kun asiakkaalla on mahdollisuus nähdä ja suunnitella kohde etukäteen virtuaalisesti. Tästä on esimerkiksi suurta hyötyä, kun kiinnostava kohde on uudisrakennus. Asiakas pystyy tutustumaan uuteen asuntoonsa jo ennen rakentamisen aloittamista ja suunnittelemaan kohteen tarkalleen toiveidensa mukaiseksi. (Adams, 2010)

Virtuaalisia asuntokauppaprosesseja hyödyntää esimerkiksi ruotsalainen kiinteistökehitys- ja rakennuskonserni Skanska AB. Virtuaalisen asuntokauppaprosessin avulla kauppaprosessi voidaan hoitaa asunnon valinnasta maksujen ja omistuksen siirtoon täysin digitaalisesti. Ensimmäinen digitaalinen asuntokauppa tehtiin Suomessa 11.12.2018, kun Skanska Kotien asiakas osti asunnon Skanskan uudesta Court-nimisestä kohteesta Helsingin Telakkarannasta. (Skanska, 2020) Digitaalinen asuntokauppaprosessi parantaa asiakaskokemusta myös pankkien näkökulmasta. Pankit ovat viime aikoina panostaneet digitaalisten palveluiden kehittämiseen ja asuntolainapäätöksen voi jo hakea ja saada myös verkossa. Digitaalisessa asuntokaupassa ostaja ja myyjä hyväksyvät kauppakirjan pankkitunnuksilla. Tämän myötä digitaalista kauppaa voidaan pitää helppoutensa lisäksi myös turvallisena, sillä kaikista toimista jää digitaalinen jalanjälki. (OP Koti, 2020)

Virtuaalitodellisuuden hyödyntäminen ei kuitenkaan rajoitu vain uudiskohteiden esittelyyn, vaan virtuaalisista näytöistä ja 3D-esittelyistä on hyötyä myös vanhempien kohteiden ja korjausrakennusten esittelyyn. Vanhan kohteen markkinoinnissa hyödyt tulevat esille siinä, että vanhoja ja kuluneita pintamateriaaleja voidaan uudistaa virtuaalisesti, mikä antaa mahdolliselle ostajalle lisätietoa asunnon mahdollisuuksista. (Adams, 2010) Virtuaalitodellisuusteknologian hyödyntäminen kiinteistövälityksessä nähdään vähentävän kustannuksia ja samalla se parantaa asiakkaan mahdollisuuksia hankkia lisätietoja kiinnostavasta kiinteistöistä (Kim, 2015). Lisäksi virtuaaliesittelyt lyhentävät asuntojen myyntiaikoja, kun kohteesta kiinnostuneet asiakkaat voivat tutustua asuntoon ennakkoon ja varsinaisissa asunonäytöissä käyvät vain oikeasti asunnosta kiinnostuneet ostajat. Virtuaalinäyttöjen avulla kiinnostuneet ostajat voivat

käydä asunnossa myös varsinaisen näytön jälkeenkin. Tämä esimerkiksi helpottaa kauempana asuvia potentiaalisia ostajia.

3.6 Koulutus ja turvallisuus

Virtuaalitodellisuuden potentiaali on huomattu myös rakennusteollisuuden koulutuksessa ja työturvallisuuden suunnittelussa. VR:n käytön edut koulutuksessa liittyvät sen kykyyn mahdollistaa opiskelijoiden vuorovaikutus ympäristön ja objektien kanssa virtuaalisissa ympäristöissä (Wang, Wu, Wang, Chi & Wang, 2018). Lisäksi VR:n hyötyinä opetus- ja koulutusvälineenä voidaan pitää ympäristön turvallisuutta, kustannustehokkuutta sekä ympäristön täyttä hallintaa ja muokattavuutta. Virtuaalitodellisuusympäristöt myös parantavat merkittävästi oppimiskokemusta, koska ne tarjoavat opiskelijalle mahdollisuuden soveltaa teoreettista tietoa käytännön ongelmiin. Lisäksi VR kehittää opiskelija luovuutta, viestintätaitoja, ongelmanratkaisua ja tiimityöskentelyä. Interaktiivinen 3D-ympäristö luo myös sopivan työkalun monimutkaisten ongelmien osiin pilkkomiseen (Abulrub & Attridge & Williams, 2011).

Rakennustekniikka on visuaalinen tiede, joka vaatii opiskelijoilta ja ammattilaisilta kehittynyttä kykyä visualisoida monimutkaisia tiloja ja esineitä. (Messner, Yerrapathruni, Baratta & Whisker, 2003) Siksi on tärkeää, että käytössä on edistyneimmät visualisointityökalut tulevien rakennusinsinöörien kouluttamiseen. Virtuaalisten mallien avulla, opiskelijat oppivat nopeammin tärkeitä rakennussuunnittelukonseptit, hahmottavat tehokkaasti rakennuksen yksityiskohdat ja osallistuvat oppimiskokemukseensa (Messner ym., 2003). Wangin ym. (2018) mukaan VR:llä on valtavia mahdollisuuksia lisätä opiskelijoiden osallistumista, vuorovaikutusta ja motivaatiota.

Virtuaalitodellisuutta on hyödynnetty myös työmaiden turvallisuuskoulutuksessa. Wangin ym. (2018) mukaan sen on todettu olevan huomattavasti tehokkaampaa verrattuna perinteiseen, luokahuoneessa diaesitysten ja videoiden avulla järjestettyyn koulutukseen. Esitysten ja videoiden tarjoamat turvallisuustiedot eivät usein edusta todellisia rakennustyömaan olosuhteita (Wang ym., 2018). Virtuaaliympäristöjä hyödyntävässä koulutuksessa työmaa mallinetaan virtuaaliseen muotoon. Näin käyttäjä voi kulkea työmaalla ja havaita oletettuja riskitekijöitä ilman todellista riskiä loukkaantumisesta. (Sacks, Perlman & Barak 2013) Rakennusteollisuus on korkean riskin ala, jossa onnettomuuksien määrä on edelleen korkea. Syitä, jotka johtavat korkeaan riskiin, ovat työmaalla työskentelevien työntekijöiden rajalliset turvallisuustiedot ja koulutuksen puute. (Wang ym., 2018) Virtuaalitodellisuutta hyödyntävä työmaakoulutus auttaa työntekijöitä ymmärtämään turvallisuusriskit paremmin.

Virtuaalitodellisuus tarjoaa myös tehokkaan lähestymistavan tutkia ihmisten käyttäytymistä evakuointitilanteissa. VR tarjoaa kokeellisen ympäristön, jossa tilanteita on helppo toistaa ja tulosten pätevyys on suhteellisen korkea. VR-ympäristö myös mahdollistaa turvallisen kokeen suorittamisen, joka muu-

ten olisi liian vaarallisia. (Kinateder ym., 2014) Evakuointiharjoitus saattaa paljastaa rakennuksen tai toimintamallien heikkouksia, jotka eivät näy kuin vasta poikkeustilanteessa. Harjoitusten tavoitteena on ymmärtää paremmin ihmisen käyttäytymistä hätätilanteissa ja näin parantaa rakennusten turvallisuutta. (Kobes, Helsloot, de Vries & Post, 2010) Kobesin ym. (2010) tekemän, paloturvallisuutta koskevan VR-tutkimuksen avulla pyrittiin ymmärtämään, kuinka ihmiset reagoivat hätätilanteissa. Tutkimuksessa keskityttiin tutkimaan ja parantamaan hotellimajoitusten paloturvallisuutta, sillä suurin osa hotellivieraista ei tunne rakennusta ja sen poistumisteitä. Tutkimuksen mukaan tärkein paloturvallisuustoimenpide on poistumismerkki, joiden avulla ihmiset saadaan käyttämään lähintä palouloskäyntiä. (Kobes ym., 2010)

Virtuaalitodellisuutta voidaan siis pitää tehokkaana lähestymistapana rakennusten turvallisuuden parantamiseksi. Kobesin ym. (2010) mukaan rakennuksen turvallisuuden tarkastelu vaatii aina kuitenkin todellisen tilanteen arviointia.

4 YHTEENVETO JA POHDINTAA

Tutkielman tarkoituksena oli tutkia kirjallisuuskatsauksen keinoin virtuaalitodellisuuden hyödyntämismahdollisuuksia rakennusteollisuudessa. Tutkielmasa vastattiin kysymyksiin: *Miten virtuaalitodellisuutta käytetään tällä hetkellä rakennusteollisuudessa?* ja *Mitä hyötyjä rakennusteollisuus voi virtuaalitodellisuuden avulla saavuttaa?* Tutkimustuloksina todettiin, että virtuaalitodellisuus on levinnyt hitaasti rakennusteollisuuden käyttöön. Wokseppin (2007) mukaan tämän selittää osittain uuden tekniikan mahdollistavien laitteistojen ja ohjelmistojen korkeat kustannukset ja uuden teknologian omaksumisen haasteellisuus. Rakennusala tunnetaan myös vanhollisena ja hitaasti muuttuvat alana, mikä luo omat haasteensa uusien järjestelmien ja teknologioiden käyttöönottoon (Woksepp 2007). Tutkimustulokset osoittivat, että virtuaalitodellisuuden hyödyntäminen painottuu tällä hetkellä lopputuloksen visualisointiin. Tämän lisäksi VR:n käyttökohteiksi löydettiin eri suunnitteluvaihtoehtojen tutkiminen, mahdollisten päällekkäisyyksien ja virheiden havaitseminen, suunnittelun kommunikointi, asunnon virtuaalinen esittely ja koulutuksen sekä työmaaturvallisuuden parantaminen.

Ensin tarkasteltiin virtuaalitodellisuuden käyttöä rakennussuunnittelussa. Lin ym. (2008) mukaan rakennussuunnittelua voidaan pitää rakennushankkeen kriittisenä vaiheena, joka määrittelee hankkeen onnistuneen toteutuksen ja lopputuloksen. Virtuaalitodellisuutta hyödyntävät suunnitelmat ovat helpommin integroitavissa suunnittelunprosessiin ja ne kykenevät myös käsittelemään kaikkia rakennuksen elinkaaren vaiheita. Wokseppin ym. (2005) mukaan tämä mahdollistaa tuotekehityksen ja -suunnittelun kustannusten pienentymisen ja kyky vastata asiakkaiden vaatimuksiin paranee.

Kirjallisuuskatsauksessa tutkittiin myös VR:n hyödyntämistä arkkitehtien työssä. Schnabelin ym. (2007) mukaan virtuaaliset ympäristöt tarjoavat arkkitehteille alustan, jonka avulla he voivat entistä helpommin ilmaista ja tutkia mielikuvitustaan sekä kokeilla erilaisia vaihtoehtoja ennen rakennushankkeen aloittamista. Lisäksi VR-tekniikan hyödyntämisen on koettu parantavan yhteistyötä suunnittelutiimien jäsenten välillä. Tehokas yhteistyö arkkitehtuurin var-

haisessa suunnitteluvaiheessa nähdään edellytyksenä tehokkaalle kokonais-suunnittelulle ja rakentamiselle.

Kirjallisuuskatsauksessa todettiin, että suurin seuraus perinteistä 2D-suunnittelua käyttäen on rakentamisvirheet, joita kohdataan rakennusprosessin aikana. Suurin osa rakennuksen elinkaaren ominaisuuksista ja kustannuksista sitoutuu jo suunnitteluvaiheessa, ja mahdollisuus vaikuttaa lopullisiin kustannuksiin heikkenee nopeasti, kun muutosten tekemisestä tai suunnitteluvirheiden korjaamisesta aiheutuneet kustannukset nousevat jatkuvasti. (Woksepp, 2007) Virtuaalitodellisuus mahdollistaa suunnitteluvaiheessa olevien kohteiden tutkimisen luonnollisessa mittakaavassa jo ennen rakentamisen aloittamista, jolloin virheiden havaitseminen ja muutosten tekeminen helpottuvat huomattavasti.

Rakennushankkeessa on mukana asiakkaat, suunnittelijat, materiaalien ja tavaroiden toimittajat ja hankkeen urakoitsijat (Whyte, 2003). Tutkimuksen tulokset osoittavat, että rakennuskohteiden tiedonkulkua on parannettava, jotta eri osapuolten yhteistyö ja ymmärtäminen helpottuu. Teknisten apuvälineiden, kuten VR:n hyödyntäminen näyttää olevan ilmeinen. Virtuaalitodellisuus tarjoaa oivan kommunikointivälineen arkkitehtien ja muiden suunnittelijoiden väliseen vuoropuheluun, kun yhteinen suunnitelma voidaan jakaa virtuaalitodellisuuden kautta. Tämän lisäksi virtuaalitodellisuus mahdollistaa asiakkaan osallistumisen hankkeen suunnitteluun. Aito vuorovaikutus asiakkaan ja rakennuttajan välillä luo projektille ja asiakkaalle enemmän arvoa ja mahdollistaa asiakkaan tyytyväisyyden projektin lopputulokseen.

Suunnittelijoiden ja rakentajien lisäksi VR hyödyttää myös asunnon ostajia. VR mahdollistaa malliasuntojen tilojen tarkastelun, vaikka asiakas ei olisikaan malliasunnossa. Virtuaaliesittelyjen on todettu esimerkiksi lyhentävän asuntojen myyntiaikoja, vähentävän kustannuksia ja samalla parantavan asiakkaan mahdollisuuksia hankkia lisätietoja kiinnostavasta kiinteistöistä. (Kim, 2015) Näin ollen asuntoihin tutustuminen ja asuntokauppojen tekeminen eivät ole enää ajasta tai paikasta riippuvaista. Tutkimustulosten perusteella voidaan todeta, että asiakkaan kokema virtuaalinen ostokokemus on täysin erilainen kuin perinteinen ostokokemus kaksiulotteisen pohjapiirrosten ja esitteiden avulla.

Virtuaalitodellisuuden potentiaali on huomattu myös rakennusteollisuuden koulutuksessa ja työturvallisuuden suunnittelussa. VR:n käytön edut koulutuksessa liittyvät sen kykyyn mahdollistaa opiskelijoiden vuorovaikutus ympäristön ja objektien kanssa virtuaalisissa ympäristöissä (Wang ym., 2018). Lisäksi VR:n hyötyinä opetus- ja koulutusvälineenä voidaan pitää ympäristön turvallisuutta, kustannustehokkuutta sekä ympäristön täyttä hallintaa ja muokattavuutta. Wangin ym. (2018) mukaan VR:n avulla toteutetun koulutuksen on todettu olevan huomattavasti tehokkaampaa verrattuna perinteiseen, luokkahuoneessa diaesitysten ja videoiden avulla järjestettyyn koulutukseen. Rakennusteollisuus on korkean riskin ala, jossa onnettomuuksien määrä on edelleen korkea. Virtuaalitodellisuutta hyödyntävä työmaakoulutus tarjoaa tähän ratkaisun auttamalla työntekijöitä ymmärtämään turvallisuusriskit paremmin.

Kirjallisuuskatsauksessa havaittiin, että virtuaalitodellisuuden hyödyntämistä rakennusteollisuudessa ei ole tutkittu vuoden 2010 jälkeen enää laajasti. Kyseessä on uusi ja kehittyvä teknologia, joten yli 10 vuotta vanhoihin tutkimustuloksiin tulee suhtautua osittain kriittisesti. Tämän lisäksi lähes kaikissa tutkimuksissa käsitellään aiheetta melko yleistasolla ja puhutaan kuinka tulevaisuudessa virtuaalitodellisuus luo mahdollisuuksia rakennusteollisuudelle. Rakennusteollisuus hyödyntää virtuaalitodellisuutta yhä enemmän, mutta jostain syystä tutkimuksia aiheesta on toteutettu suhteellisen vähän. Tämä voi johtua esimerkiksi siitä, että virtuaalitodellisuuden hyödyntämismahdollisuudet ja tulevaisuuden potentiaali rakennusteollisuudessa on määritelty tällöin melko tarkasti, jonka jälkeen nämä aiemmin esitellyt mahdollisuudet on jo saavutettu. Tulevien tutkimuksien tulisi kuitenkin ottaa huomioon uuden teknologian jatkuva kehitys, joka tulee muuttamaan rakennusteollisuutta ja sen prosesseja. Aiheen kokonaisvaltainen tutkiminen olisi tärkeää edelleen, jotta rakennusala kykenee jatkossakin hyödyntämään virtuaalisuuden eri muotoja.

Virtuaalitodellisuudella on vielä paljon haasteita ratkaistavanaan ennen kuin sen voidaan uskoa omaksuttavaksi täysin rakennusprosesseihin. Tulevaisuuden jatkotutkimuksissa tulisi keskittyä ainakin VR-laseista johtuvaan virtuaalipahoinvointiin. Lisäksi suurimmat VR-laitteistojen valmistajat ovat asettaneet ikärajoituksia VR-laitteille, koska VR:n vaikutuksista lapsiin ei ole vielä tutkittu tarpeeksi. Nämä ovat muutamia ongelmia, joita virtuaalitodellisuuden tulee ratkaista ennen, kun sen hyödyntäminen voi saavuttaa täyden potentiaalin niin viihde- kuin rakennusteollisuus käytössäkin.

Tutkielmassa keskityttiin ainoastaan virtuaalitodellisuuden tarkasteluun. Tämä rajasi tutkimuksesta kokonaan pois lisätyn todellisuuden, josta tutkimuksia aiheesta oli tehty myös huomattavasti. Tällä hetkellä virtuaalitodellisuus soveltuu kuitenkin paremmin suunnitteluteollisuuden apuvälineeksi. Tulevaisuudessa lisätty todellisuus ja muut todellisuuden muodot tulevat todennäköisesti kuitenkin integroitumaan virtuaalitodellisuuden kanssa yhdeksi suunnittelun työkaluksi. Lisätty todellisuus tarjoaa esimerkiksi mahdollisuuden todellisuuden ja virtuaalisuuden yhdistämiselle, jonka voidaan uskoa olevan merkittävä ominaisuus suunnittelualalla. Lisätyn todellisuuden avulla esimerkiksi työmaalla tarvittavien rakennuselementtien ja -materiaalien hinnat, määrät ja saatavuus ovat mahdollista laskea kuvaamalla jäljellä olevat rakennusmateriaalit. Tarvittavien materiaalmäärien ja kustannustietojen avulla pystyttäisiin säästöihin, työn sekä ajankäytön suhteen. Näiden mahdollisuuksien myötä voidaan uskoa, että virtuaali- ja lisätty todellisuus tulevat olemaan tulevaisuudessa rakentamisen tärkeimpiä apuvälineitä.

LÄHTEET

- Adams, M. S. (2010). *U.S. Patent No. 7,834,883*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Argos (15.01.2020) Haettu osoitteesta:
<https://www.argos.co.uk/product/1152878>
- Bloomberg, J. (2018). Digitization, digitalization, and digital transformation: confuse them at your peril. *Forbes*. Retrieved on August, 28, 2019.
- Brooks, F. P. (1999). What's real about virtual reality?. *IEEE Computer graphics and applications*, 19(6), 16-27.
- Dunston, P. S., Arns, L. L., Mcglothlin, J. D., Lasker, G. C., & Kushner, A. G. (2011). An immersive virtual reality mock-up for design review of hospital patient rooms. In *Collaborative design in virtual environments* (pp. 167-176). Springer, Dordrecht.
- Dunston, P., Wang, X., Billingham, M., & Hampson, B. (2003). Mixed reality benefits for design perception. Nist Special Publication SP, 191-196.
- Furht, B. t. (2011). *Handbook of Augmented Reality* (1.). New York, NY: Springer New York
- Gorini, A., Capideville, C. S., De Leo, G., Mantovani, F., & Riva, G. (2011). The role of immersion and narrative in mediated presence: the virtual hospital experience. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 14(3), 99-105.
- Hanna, N., Richards, D. & Jacobson, M. 2012. Automatic Acquisition of User Models of Interaction to Evaluate the Usability of Virtual Environments. Teoksessa: Knowledge Management and Acquisition for Intelligent Systems, toim. Richards, D & Kang, B.H. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, pp. 43-57.

- Immersive VR Design, YouTube (15.01.2020) Haettu osoitteesta:
<https://www.youtube.com/watch?v=j1vpAoC6rOA>
- Jerald, J. (2015). *The VR book: Human-centered design for virtual reality*. Morgan & Claypool.
- Julkaisufoorumi (09.01.2020) Haettu osoitteesta:
<https://www.tsv.fi/julkaisufoorumi/haku.php>
- Kim, S. (2015). A Study on the Real Estate Information System Based on Virtual Reality Technology. *Advanced Science and Technology Letters*, 87, 82-87.
- Kinateder, M., Ronchi, E., Nilsson, D., Kobes, M., Müller, M., Pauli, P., & Mühlberger, A. (2014, September). Virtual reality for fire evacuation research. In *2014 Federated Conference on Computer Science and Information Systems* (pp. 313-321). IEEE.
- Kobes, M., Helsloot, I., de Vries, B., & Post, J. (2010). Exit choice,(pre-) movement time and (pre-) evacuation behaviour in hotel fire evacuation – Behavioural analysis and validation of the use of serious gaming in experimental research. *Procedia Engineering*, 3, 37-51.
- Kunz, A., Zank, M., Fjeld, M., & Nescher, T. (2016). Real walking in virtual environments for factory planning and evaluation. *Procedia Cirp*, 44, 257-262.
- Li, H., Huang, T., Kong, C. W., Guo, H. L., Baldwin, A., Chan, N., & Wong, J. (2008). Integrating design and construction through virtual prototyping. *Automation in construction*, 17(8), 915-922.
- Linowes, J. (2015). *Unity virtual reality projects*. Packt Publishing Ltd.
- Mandal, S. (2013). Brief introduction of virtual reality & its challenges. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(4), 304-309.
- Messner, J. I., Yerrapathruni, S. C., Baratta, A. J., & Whisker, V. E. (2003, June). Using virtual reality to improve construction engineering education. In *American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition*.
- Milgram, P., & Colquhoun, H. (1999). A taxonomy of real and virtual world display integration. *Mixed reality: Merging real and virtual worlds*, 1, 1-26.
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77(12), 1321-1329.

- Mourant, R. R., & Thattacherry, T. R. (2000, July). Simulator sickness in a virtual environments driving simulator. In *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting* (Vol. 44, No. 5, pp. 534-537). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.
- Ohno, N., & Kageyama, A. (2007). Scientific visualization of geophysical simulation data by the CAVE VR system with volume rendering. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 163(1-4), 305-311.
- OP Koti, *Helppoa ja turvallista asuntokauppaa* (29.01.2020) Haettu osoitteesta: <https://op-koti.fi/digitaalinen-asuntokauppa>
- 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. *Computers, Environment and Urban Systems*, 54, 376-384.
- Rakennusteollisuus (10.01.2020) Haettu osoitteesta: <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Talous-tilastot-ja-suhdanteet/>
- Rakennusteollisuus (10.01.2020) Haettu osoitteesta: <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Tyoelama/Tietoja-tyovoimasta-rakennusalalla/>
- Sacks, R., Perlman, A., & Barak, R. (2013). Construction safety training using immersive virtual reality. *Construction Management and Economics*, 31(9), 1005-1017.
- Schnabel, M. A., Kvan, T., Kuan, S. K., & Li, W. (2004). 3D Crossover: exploring objects digitalisé. *International Journal of Architectural Computing*, 2(4), 475-490.
- Schnabel, M. A., Wang, X., Seichter, H., & Kvan, T. (2007). From virtuality to reality and back.
- Schroeder, R. (1993). Virtual reality in the real world: history, applications and projections. *Futures*, 25(9), 963-973.
- Seichter, H., & Schnabel, M. A. (2005). Digital and tangible sensation: an augmented reality urban design studio.
- Sharples, S., Cobb, S., Moody, A., & Wilson, J. R. (2008). Virtual reality induced symptoms and effects (VRISE): Comparison of head mounted display (HMD), desktop and projection display systems. *Displays*, 29(2), 58-69.
- Sherman, W. R., & Craig, A. B. (2003). *Understanding virtual reality: Interface, application, and design*. Morgan Kaufmann.

- Skanska, *Digitalisaatio ja innovaatiot* (29.01.2020). Haettu osoitteesta:
<https://www.skanska.fi/tietoa-skanskasta/skanska-suomessa/digitaalisaatio-ja-innovaatiot/>
- Steinicke, F. (2016). *Being really virtual*. Immersive Natives and the Future of Virtual Reality. Cham: Springer International Publishing.
- Store Google (15.01.2020) Haettu osoitteesta:
https://store.google.com/CA/product/google_cardboard
- Visbox (15.01.2020) Haettu osoitteesta:
<http://www.visbox.com/products/cave/viscube-c4/>
- Wang, P., Wu, P., Wang, J., Chi, H. L., & Wang, X. (2018). A critical review of the use of virtual reality in construction engineering education and training. *International journal of environmental research and public health*, 15(6), 1204.
- Whyte, J. (2003). Innovation and users: virtual reality in the construction sector. *Construction Management and Economics*, 21(6), 565-572.
- Woksepp, S. (2007). *Virtual reality in construction: tools, methods and processes* (Doctoral dissertation, Luleå tekniska universitet).
- Woksepp, S., Jongeling, R., & Olofsson, T. (2005). Applying Virtual Reality and 4D CAD models in the scheduling process of a large pelletizing plant. In *International Conference on Construction Applications of Virtual Reality: 12/09/2005-13/09/2005* (pp. 352-360).