



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

VILLE PITKÄNEN
LISÄTYN TODELLISUUDEN HYÖDYNTÄMINEN RAKENNUSTYÖ-
MAALLA

Kandidaatintyö

Tarkastaja: tutkijatohtori Jukka Puhto
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
7. syyskuuta 2017

TIIVISTELMÄ

VILLE PITKÄNEN: LISÄTYN TODELLISUUDEN HYÖDYNTÄMINEN RAKENNUSTYÖMAALLA

Tampereen teknillinen yliopisto

Kandidaatintyö, 26 sivua

Joulukuu 2017

Rakennustekniikan tekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Rakennustuotanto

Tarkastaja: tutkijatohtori Jukka Puhto

Avainsanat: lisätty todellisuus, rakennuksen tietomalli, visualisointi, työnseuranta rakennustyömaa.

Kandidaatintyön tavoitteena oli selvittää, miten lisättyä todellisuutta voidaan hyödyntää rakennustyömaalla. Työ jakautuu teoria- ja sovellutusosuuteen. Teoriaosuudessa käsiteltiin lisättyä todellisuutta yleisellä tasolla ja sovellutusosuudessa tarkasteltiin sen käyttöä rakennustyömaalla.

Luvussa 2 käytiin läpi lisätyn todellisuuden perusteita ja historiaa. Lisätty todellisuus määritellään reaaliaikaiseksi suoraksi tai epäsuoraksi näkymäksi todellisesta ympäristöstä, johon on lisätty tietokoneella tuotettua informaatiota. Tämä informaatio voi olla esimerkiksi tekstiä, kuvaa, ääntä, videota tai paikkatietoa. Virtuaaliset objektit, jotka lisätään käyttäjän näkymään, antavat informaatiota, jota käyttäjä ei pysty omilla aisteillaan havaitsemaan. Tämän informaation on tarkoitus auttaa käyttäjää suoriutumaan erilaisista tehtävistä.

Luvussa 3 käsiteltiin lisätyn todellisuuden laitteistoja ja teknologioita. Lisätyn todellisuuden oleellimmat laitteet ovat näytöt, seurantalaitteet ja tietokoneet. Oleellimmat erot laitteistoissa ovat erilaiset näyttötyypit, joita ovat kädessä pidettävät näytöt, päässä pidettävät näytöt ja projektionäytöt. Nykyään mobiililaitteet ovat lupaava alusta lisätylle todellisuudelle.

Luvussa 4 keskityttiin lisätyn todellisuuden käyttömahdollisuuksiin rakennustyömaalla. Lisätty todellisuus soveltuu hyvin muun muassa suunnitelmien visualisointiin, rakennusprojektin seurantaan, koulutukseen sekä kommunikointiin.

Johtopäätöksissä esitettiin muutama lisätyn todellisuuden käyttöskenaario rakennustyömaakäytössä. Kirjallisuustutkimuksen perusteella selvisi, että lisätyllä todellisuudella olisi useita hyödyllisiä käyttökohteita rakennustyömaakäytössä. Toisaalta sitä ei ole vielä juurikaan käytetty oikeissa rakennusprojekteissa, joten käyttökokemuksista tarvitaan vielä jatkotutkimusta.

ALKUSANAT

Tämä on Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan koulutusohjelmassa suoritettu kandidaatintutkintoon kuuluva opinnäytetyö. Kandidaatintyö kirjoitettiin osana syksyn 2017 rakennustekniikan kandidaatintyöseminaaria. Työn tavoitteena oli selvittää lisätyn todellisuuden hyödyntämismahdollisuuksia rakennustyömaalla. Päädyin aiheeseen puhtaasti mielenkiinnosta uuteen teknologiaan. Aikaisempaa tietoa aiheesta minulla ei juurikaan ollut. Työ tehtiin kirjallisuusselvityksenä.

Haluan kiittää Eero Larkelaa hyvästä tuesta kandidaatintyön kirjoitusprosessissa. Tämän lisäksi kiitos tyttöystävälleni Paulina Pirkolalle tuesta ja kannustuksesta. Lisäksi haluan kiittää muita opiskelukavereita koko tähänastisten opiskelujen ajalta. Kiitokset myös työn ohjaajalle ja tarkastajalle Jukka Puhdolle.

Tampereella, 17.12.2017

Ville Pitkänen

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	LISÄTTY TODELLISUUS	3
	2.1 Perusteet	3
	2.2 Historia	4
3.	LAITTEISTOT JA TEKNOLOGIAT	5
	3.1 Näyttötyypit.....	5
	3.1.1 Päässä pidettävät näytöt	5
	3.1.2 Kädessä pidettävät näytöt.....	6
	3.1.3 Projektionäytöt	7
	3.2 Seuranta ja tunnistus.....	7
	3.2.1 Markkeripohjainen tunnistus.....	8
	3.2.2 Markkeriton tunnistus	9
	3.3 Muu laitteisto.....	9
	3.4 Teknologian haasteet.....	9
4.	LISÄTTY TODELLISUUS RAKENTAMISESSA	11
	4.1 Taustatietoa	11
	4.2 Teknologian käyttöönoton edellytykset	12
	4.3 Suunnitelmien visualisointi	12
	4.4 Rakennusprojektin seuranta	15
	4.5 Virheiden havaitseminen	16
	4.6 Kommunikointi	17
	4.7 Koulutus	17
	4.8 Lisätyn todellisuuden käyttökohteet työmaalla.....	18
	4.8.1 Maanrakennus	18
	4.8.2 Rakennusmateriaalien paikallistaminen.....	19
5.	JOHTOPÄÄTÖKSET	20
	5.1 Mahdollisia käyttöskenaarioita	21
	5.1.1 Etäyhteistyön käyttöskenaario	21
	5.1.2 Korjausrakentamisen käyttöskenaario	21
	5.2 Ehdotuksia jatkotutkimukselle	22
	LÄHTEET	23

1. JOHDANTO

Rakennusala on perinteisesti pidetty erittäin vanhoillisena sekä perinteikkäänä alana, johon uudet teknologiat rantautuvat suhteellisen hitaasti. Viime vuosina rakennusten tietomallit ovat kuitenkin yleistyneet laajasti rakennusosalalla käytettäviksi. Rakennustyömaalla käytettävät suunnitelmat ovat silti vielä pääasiassa paperiversioina tai kannettavissa mobiililaitteissa, kaksiulotteisina. Lisätty todellisuus on teknologia, jonka avulla pystytään muun muassa visualisoimaan rakennusten tietomallien suunnitteluinformaatiota rakennustyömaalla, paikan päällä ja oikeassa mittakaavassa. Lisäksi viime vuosien nopea mobiililaitteiden kehitys mahdollistaa lisätyn todellisuuden hyödyntämisen yhä helpommin ja pienemmillä investoinneilla.

Lisätty todellisuus (engl. augmented reality, AR) tarkoittaa näkymää todellisesta ympäristöstä, johon on lisätty tietokoneella tuotettua kuvaa, ääntä, videota, tekstiä tai paikkatietoja (Furht 2011, s. 3). Yksinkertaisimmillaan lisätty todellisuus voi olla tekstihuomautuksia, mutta se mahdollistaa myös koko rakennuksen visualisoimisen. Lisätyn todellisuuden avulla on esimerkiksi mahdollista upottaa 3-ulotteisia objekteja videokuvaan. Tällöin ne näyttävät olevan osa todellista ympäristöä. (Siltanen 2012) Virtuaaliset objektit välittävät käyttäjälle informaatiota, jota ei ole havaittavissa omilla aisteilla. Välitetty informaatio auttaa käyttäjää suoriutumaan erilaisista tehtävistä helpommin (Azuma 1997).

Kandidaatintyössä käsitellään lisätyn todellisuuden hyödyntämistä rakennustyömaalla. Kandidaatintyön tavoitteena on koota yhteen nykyistä tutkimustietoa lisätystä todellisudesta sekä arvioida sen merkitystä rakennustyömaa käytössä. Työssä käydään aluksi teoriaosuudessa läpi, mitä lisätty todellisuus tarkoittaa. Teoriaosuudessa tarkastellaan erilaisia lisätyn todellisuuden mahdollistavia tekniikoita ja niiden toimintaperiaatteita. Tämän jälkeen pureudutaan lisätyn todellisuuden käyttösovelluksiin rakennusosalalla. Kandidaatintyössä keskitytään erityisesti lisätyn todellisuuden hyödyntämiseen rakennustyömaalla, suorittavassa työssä, sekä työn suunnittelun ja ohjaamisen apuvälineenä. Siinä käsitellään myös lisätyn todellisuuden rajoitteita ja mahdollisia ongelmia. Johtopäätöksissä kootaan yhteen rakennustyömaalle soveltuvat lisätyn todellisuuden sovellutukset ja käyttökohteet sekä pohditaan, mitä lisätyn todellisuuden käyttöönotto rakennustyömaalla vaatii. Lisäksi esitetään kaksi lisätyn todellisuuden käyttöskenaariota rakennustyömaalla. Lopuksi annetaan vielä ehdotuksia jatkotutkimuksia varten.

Tutkimusmenetelmänä käytetään kirjallisuusselvitystä. Kirjallisuusselvityksessä lähdetään liikkeelle lisätyn todellisuuden perusteista ja tarvittavista laitteistoista. Kirjallisuusselvitys perustuu pääasiassa tieteellisiin julkaisuihin. Kandidaatintyössä perusteoksena on käytetty kirjaa Handbook of Augmented Reality (2011). Teos käsittelee laajasti lisättyä todellisuutta ja sen sovellutusalueita.

Teknologian sovellutuksena lisätty todellisuus on suhteellisen uusi ja siinä on vielä todennäköisesti paljon potentiaalia apuvälineenä rakentamisessa. Aihe on erityisen merkityksellinen rakennusyrityksille, sekä teknologiayrityksille. Rakennusalan yrityksen on mahdollista saavuttaa kilpailuetua, ottamalla käyttöön uutta teknologiaa. Teknologia-alan yrityksille lisätty todellisuus luo uusia markkinoita.

2. LISÄTTY TODELLISUUS

2.1 Perusteet

Lisätty todellisuus määritellään reaaliaikaiseksi suoraksi tai epäsuoraksi näkymäksi todellisesta ympäristöstä, johon on lisätty tietokoneella tuotettua informaatiota. Tämä informaatio voi olla esimerkiksi tekstiä, kuvaa, ääntä, videota tai paikkatietoa. Toisin kuin virtuaalitodellisuus, joka vaatii kokonaan virtuaalisen ympäristön, lisätty todellisuus lisää olemassa olevaan ympäristöön virtuaalista informaatiota. (Furht 2011, s. 3) Virtuaaliset objektit, jotka lisätään käyttäjän näkymään, antavat informaatiota, jota käyttäjä ei pysty omilla aisteillaan havaitsemaan. Tämä informaation voi auttaa käyttäjää suoriutumaan monista erilaisista tehtävistä. Lisätty todellisuus on malliesimerkki Fred Brooks'n (1996) määrittelemästä käsitteestä ”älykkyyden vahvistaminen” (engl. intelligence amplification, IA). Käsitteellä tarkoitetaan, tietokoneen käyttämistä työkaluna helpottamaan ihmisten suorittamia tehtäviä. (Azuma 1997)

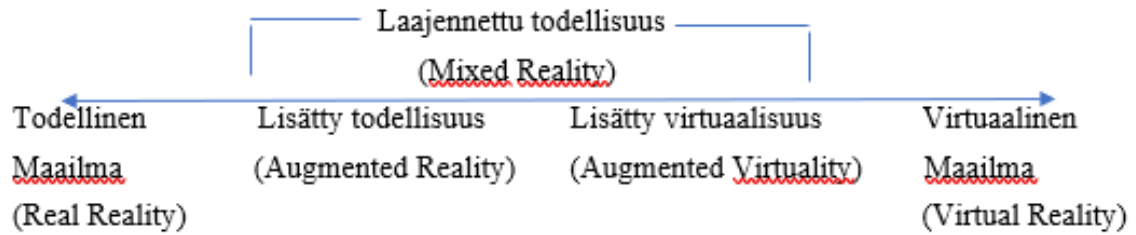
Azuman (1997) määritelmän mukaan lisätyn todellisuuden kolme ominaisuutta ovat seuraavat:

- todellisten ja virtuaalisten objektien yhdistäminen todellisessa ympäristössä
- interaktiivisesti ja reaaliaikaisesti toimiminen
- todellisten ja virtuaalisten objektien kohdistaminen toistensa kanssa.

Toinen hieman uudempi määritelmä kuvaa lisätyn todellisuuden ominaisuudet seuraavasti:

- käyttäjän näkökentän seuraaminen
- virtuaalisten objektien lisääminen käyttäjän näkymään todellisesta maailmasta
- virtuaalisten objektien ja käyttäjän näkymän todellisesta maailmasta kuvantaminen reaaliajassa
- virtuaalisten objektien sijoittaminen todelliseen näkymään oikeassa mittasuhteessa (Shin & Dunston 2008).

Paul Milgramin ja Fumio Kishinon (1994) määrittelemä Milgramin jatkumo (kuva 1) havainnollistaa lisätyn todellisuuden suhdetta todelliseen maailmaan sekä virtuaaliseen maailmaan. Lisätty virtuaalisuus tarkoittaa virtuaalista maailmaa, johon on lisätty todellisia objekteja. Virtuaalinen maailma on kokonaan tietokoneella tuotettu ympäristö. Laajennettu todellisuus on yläkäsite lisätylle todellisuudelle ja lisätylle virtuaalisuudelle. Lisätty todellisuus sijoittuu tässä jatkumossa lähimmäksi todellista maailmaa. (Furht 2011, s. 3) On hyvä hahmottaa lähellä toisiaan olevien termien erot ja suhteet toisiinsa.



Kuva 1 Milgramin jatkumo (Muokattu lähteestä Furht 2011, s.4)

Lisättyä todellisuutta voidaan teoriassa soveltaa mille tahansa aistille, myös haju-, tunto- ja kuuloaistille. Sen avulla pystytään auttamaan aistivammaisia. Esimerkiksi heikkonäköisiä ja sokeita voidaan ohjata äänen avulla tai huonokuuloisia auttaa visuaalisilla ohjeilla. (Furht 2011, s. 3)

2.2 Historia

Lisätyn todellisuuden historia ulottuu 1950-luvulle, jolloin elokuvaaja Morton Heiligin mielestä elokuvan pitäisi olla kokemus, joka saisi katsojan elokuvan tapahtumiin mukaan. Tämä onnistuisi stimuloimalla katsojan kaikkia eri aisteja tehokkaasti. Vuonna 1962 Heilig rakensi Sensorama-nimisen prototyypin visiostaan. Seuraava suuri kehitys tapahtui vuonna 1968, jolloin Ivan Sutherland valmisti ensimmäisen optisen päässä pidettävän lisätyn todellisuuden laitteiston. Vuonna 1975 Myron Krueger kehitti The Videoplacen, joka oli huone, jossa käyttäjä pystyi olemaan vuorovaikutuksessa virtuaalisten objektien kanssa ensimmäistä kertaa. Myöhemmin samana vuonna Tom Caudell ja David Mizell sovelsivat lisättyä todellisuutta kaapeleiden ja johtojen asentamisessa lentokoneeseen. Samana vuonna L.B Rosenberg kehitti yhden ensimmäisistä toimivista lisätyn todellisuuden laitteistosta, Virtual Fixturesin. Lisäksi Steven Feiner, Blair Macintyre ja Doree Seligmann julkaisivat ensimmäisen tieteellisen artikkelin, joka käsitteli lisätyn todellisuuden prototyyppiä KARMA:a. Paul Milgram ja Fumio Kishino määrittelivät todellisuus-virtuaalisuusjatkumon (kuva 1) vuonna 1994. (Furht 2011, s. 4)

Ronald Azuma kirjoitti vuonna 1997 ensimmäisen tieteellisen tutkimuksen lisätystä todellisuudesta, jossa hän myös määritteli termin lisätty todellisuus. Tämän jälkeen on kehitetty lukuisia lisätyn todellisuuden laitteistoja ja applikaatioita. Viime vuosien aikana lisätty todellisuus on kehittynyt nopeasti, varsinkin mobiililaitteiden kehittymisen vuoksi. Mobiililaitteet ovatkin jo nyt lupaava alusta lisätylle todellisuudelle. (Furht 2011, s. 5) Alun perin lisättyä todellisuutta käytettiin armeijan, teollisuuden ja lääketieteen sovelluksiin, mutta se on kuitenkin jo levinnyt kaupalliseen käyttöön sekä viihdeteollisuuteen (Azuma 1997).

3. LAITTEISTOT JA TEKNOLOGIAT

3.1 Näyttötyypit

Lisätyn todellisuuden oleelliset laitteet ovat näytöt, seurantalaitteet ja tietokoneet. Erilaisia lisätyn todellisuuden näyttötyyppejä on kolme erilaista. Nämä ovat päässä pidettävät näytöt, kädessä pidettävät näytöt ja projisoivat näytöt. (Furht 2011, s. 9)

Lisätyn todellisuuden laitteistot eroavat toisistaan oleellisesti näyttötyyppien mukaan. Näyttötyyppi määrittää muun muassa sen, kuinka moni voi nähdä samanaikaisesti lisätyn todellisuuden näkymän.

3.1.1 Päässä pidettävät näytöt

Päässä pidettävillä näytöillä (Head-Mounted Display, HMD) tarkoitetaan joko kypärään integroitua näyttöä tai erillisiä äylaseja. Daqri Smart Helmet on esimerkki nykyaikaisesta päässä pidettävästä kypärään integroidusta näytöstä (kuva 2). Microsoft HoloLens -lasit ovat taas esimerkki älylasimallisesta näyttötyypistä (kuva 3).



Kuva 2 Daqri Smart Helmet (Daqri 2017)

Päässä pidettävät näytöt jaetaan lisäksi toimintaperiaatteen mukaan kahteen eri luokkaan: optisiin ja videonäyttöihin. Näyttö voi olla joko molemmille silmille tai vain yhdelle silmälle. Videonäytöt ovat teknikaltaan vaativampia kuin optiset näytöt, koska ne tarvitsevat toimiakseen kaksi kameraa. Kameroiden kuvaamaa kuvaa tulee lisäksi prosessoida, jotta lisätty todellisuus saadaan synkronoitua todellisen näkymän kanssa.

Molemmissa näyttötekniikoissa on omat hyvät ja huonot puolensa. Optisen näytön hyviä puolia ovat tarkka näkymä todellisesta maailmasta. Videonäytöissä ei ole viivettä virtuaalisten objektien esittämisessä, koska tietokoneella on aikaa käsitellä virtuaalista kuvaa ennen sen esittämistä näytöltä. Optisissa näytöissä näkymää todellisesta maailmasta ei voi viivästyttää, mikä ilmenee erilaisina näkymän ongelmina, kuten lisätyn kuvan värinä ja epätarkkuutena. (Furht 2011, s. 9-10)



Kuva 3 Microsoft HoloLens (Microsoft 2017)

Rakennustyömaakäyttöön päässä pidettävät näytöt voisivat olla erityisen hyviä, koska ne jättävät kädet vapaiksi työskentelyä varten. Päässä pidettävä näyttö voisi myös samalla toimia suojalaseina. Erityisesti ratkaisu, jossa näyttö on yhdistetty suojakypärään, voisi olla toimiva ratkaisu rakennusalalla (kuva 2).

3.1.2 Kädessä pidettävät näytöt

Kädessä pidettävillä näytöillä tarkoitetaan käytännössä älypuhelimia ja tablettitietokoneita (kuva 4). Näiden toiminta perustuu kameran kautta esitettävään kuvaan ympäristöstä, johon on lisätty virtuaalisia objekteja (engl. video-see-through technique).



Kuva 4 Lisätyn todellisuuden "röntgennäkö"-ominaisuus (Affinity VR 2017)

Mobiililaitteiden viime vuosien nopea kehitys tekee niistä lupaavan sovellusalustan lisätylle todellisuudelle. Mobiililaitteissa on nykyään tehokkaat prosessorit, hyvät kamerat, GPS-paikannus ja kiihtyvyyssanturit, mikä tekee niistä erittäin toimivia lisätyn todellisuuden tarpeisiin. (Furht 2011, s. 10)

3.1.3 Projektionäytöt

Projektionäytöt heijastavat lisätyn todellisuuden informaation suoraan fyysisille objekteille eivätkä vaadi käyttäjältä erillistä kannettavaa näyttöä. Toiminta perustuu video-projektoreihin, hologrammeihin ja erilaisiin tunnistusmenetelmiin.

Projektionäytöt mahdollistavat sen, että useat käyttäjät pystyvät näkemään samanaikaisesti lisätyn todellisuuden tuottaman informaation. Projektionäytöt mahdollistavat käyttäjien välisen yhteistyön lisätyn todellisuuden parissa, mikä tekee siitä hyödyllisen esimerkiksi yliopistoille ja laboratorioille. Projektiopinnat voivat vaihdella tasaisista värillisistä seinistä monimutkaisiin pienoismalleihin. (Furht 2011, s. 11)

3.2 Seuranta ja tunnistus

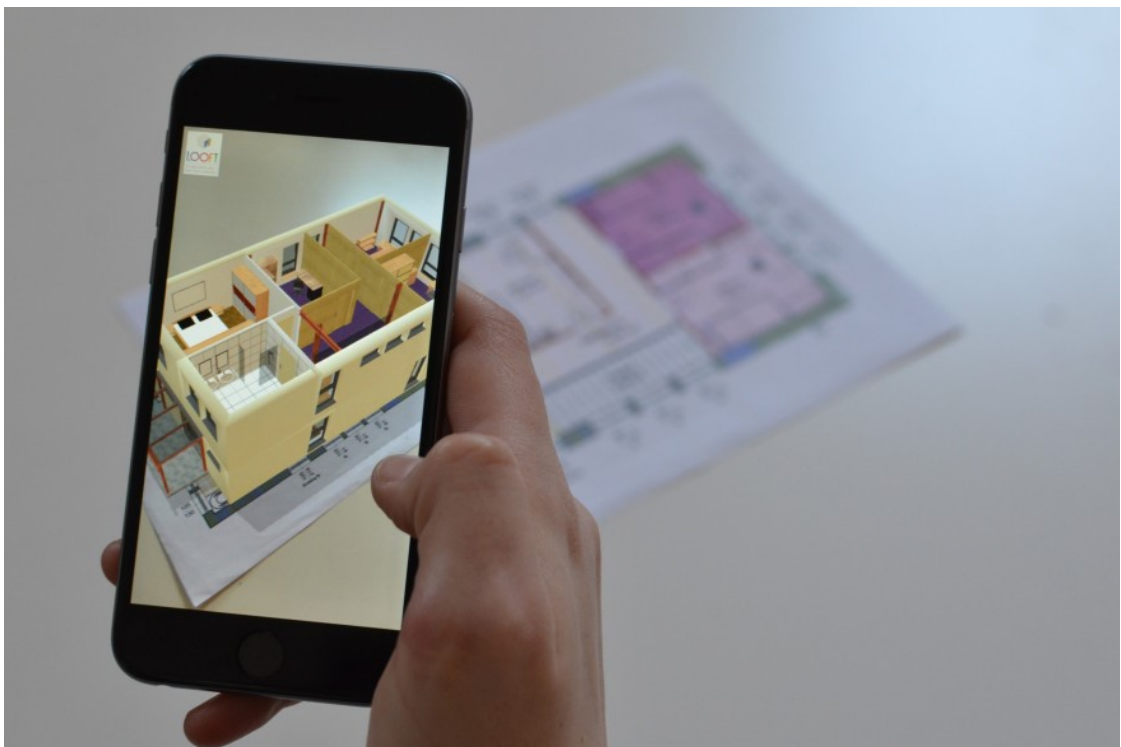
Lisätty todellisuus esittää virtuaalista informaatiota reaali maailman kontekstissa. Jotta tämä onnistuu, lisätyn todellisuuden järjestelmän tarvitsee tietää, missä käyttäjä on ja mihin hän katsoo. Usein käyttäjä havainnoi ympäristöä näytön läpi, joka esittää kameran kuvan ja lisätyn todellisuuden informaation yhdessä. Tämän takia käytettävän järjestelmän pitää määrittää kameran sijainti ja suuntaus. Kalibroidun kameran avulla järjestelmä pystyy esittämään virtuaaliset objektit oikeissa paikoissa.

Termi seuranta tarkoittaa kameran suhteellisen asennon ja sijainnin määrittämistä reaaliajassa. Se on yksi tärkeistä perusedellytyksistä lisätylle todellisuudelle. (Siltanen 2012) Erilaisia seurantalaitteistoja ovat digitaaliset kamerat, optiset sensorit, GPS-paikannus, kiihtyvyyssanturit, gyroskoopit ja ultraääni (Furht 2011, s. 12).

3.2.1 Markkeripohjainen tunnistus

Markkeripohjainen tunnistus perustuu helposti havaittavaan merkkiin ympäristössä, jonka tietokonenäkö pystyy tunnistamaan videokuvasta kuvan prosessoimisen ja kuvioiden tunnistamisen avulla (kuva 5). Tunnistuksen jälkeen järjestelmä pystyy määrittämään kameran sijainnin ja asennon. Markkeripohjainen tunnistus on laajasti käytössä oleva menetelmä lisätyssä todellisuudessa. (Siltanen 2012)

Eräs yleinen markkeripohjainen menetelmä on mustavalkoinen neliömarkkeri tunnistus. Tunnistus voi perustua joko yhteen tai useampaan markkeriin, jolloin puhutaan markkerikentästä. Kameran havaitsemien markkerien määrän kasvaessa, myös tunnistus tarkentuu. Markkereiden koko vaikuttaa myös tunnistuksen tarkkuuteen sekä maksimaaliseen tunnistusetäisyyteen. (Siltanen 2012)



Kuva 5 Markkeripohjainen tunnistus (Architect 2017)

Markkeripohjainen tunnistus ei ole yhtä häiriöherkkä ympäristössä tapahtuvalle liikkeelle, verrattuna markkerittomaan, piirteisiin perustuvaan, tunnistukseen. Markkeripohjaisen tunnistuksen vaatima laitteisto on myös usein edullisempi kuin markkerittoman tunnistuksen, pienempien laskentatehovaatimusten takia. (Siltanen 2012)

3.2.2 Markkeriton tunnistus

Markkeripohjainen tunnistus ei kuitenkaan sovellu kovin hyvin kaikkiin käyttötarkoituksiin. Muun muassa ulkona, pidempien etäisyyksien takia, markkereiden tulisi olla erittäin suuria toimiakseen. Siksi on pitänyt kehittää piirteisiin perustuva markkeriton tunnistusmenetelmä. Siinä tunnistus perustuu ympäristössä oleviin piirteisiin, kuten rakennusten suoriin linjoihin ja muihin konenäön havaitsemiin pisteisiin ja piirteisiin. (Fua & Lepetit 2007)

Markkeriton lisätty todellisuus määrittellään lisätyn todellisuuden applikaatioksi, joka ei tarvitse ennalta määritettyä tietoa käyttäjän ympäristöstä, lisätäkseen siihen 3-ulotteisia objekteja. Tähän päivään mennessä suurin osa lisätyn todellisuuden laitteistoista on perustunut markkeripohjaiseen tunnistukseen, joten markkeriton tunnistus on suhteellisen uusi tekniikka. (Fetters 2017)

3.3 Muu laitteisto

Näyttö- ja paikannuslaitteiden lisäksi lisätyn todellisuuden toteuttaminen vaatii kameran ja tietokoneen. Kannettavissa mobiililaitteissa valmiina oleva kamera toimii lisätyn todellisuuden toteuttamiseen hyvin. Kameraa käytettäessä paikannukseen, on sen resoluution oltava tarpeeksi hyvä. Tietokonetta tarvitaan paikannuksen ja visualisoinnin toteuttamiseen. Tehokas paikannus on lisätyn todellisuuden tärkeimpiä ominaisuuksia. Kun paikannus on nopeaa ja tarkkaa, niin visualisoinnin todentuntuisuus paranee. Paikannus ja visualisointi vaativat paikannusalgoritmin, visualisointiohjelman sekä niitä käsittelevän tietokoneen. (Nuutinen 2011)

Muita laitteita, joita voidaan käyttää lisätyn todellisuuden hallintaan ja ohjaamiseen voivat olla esimerkiksi älyhansikkaat tai älyranneke. Lisättyä todellisuutta voidaan myös ohjata esimerkiksi älypuhelimien näytöltä tai kannettavan tietokoneen välityksellä. (Furht 2011, s. 12)

3.4 Teknologian haasteet

Suurimmat haasteet lisätyn todellisuuden teknologiassa liittyvät virtuaalisten objektien avaruudelliseen sijoittamiseen näkymään, niin että ne näyttävät olevan osa todellista maailmaa. Rakennusalalla erityisiä haasteita lisätyn todellisuuden käyttöönottossa voivat olla laitteiston liikkuvuus, ergonomia ja kestävyys. Lisäksi muita haasteita on laitteistojen akunkesto ja säänkestävyys vaihtelevissa olosuhteissa. (Behzadan et al. 2015)

Edellä mainittujen haasteiden lisäksi, lisätyn todellisuuden laitteistojen rajallinen näkökenttä (engl. field of view, FOV) rajoittaa niistä saatua maksimaalista hyötyä. Lisätyn todellisuuden näkökentällä tarkoitetaan sitä osuutta käyttäjän näkökentästä, jossa lisätty todellisuus näkyy. Toisin sanoen nykyisellä teknologialla saadaan lisättyä todellisuutta

esitettyä vain rajallisessa osassa käyttäjän näkökentästä. Tämä rajoittaa lisätyn todellisuuden virtuaalisten objektien kokoa. (Ren et al. 2016)

4. LISÄTTY TODELLISUUS RAKENTAMISESSA

4.1 Taustatietoa

Lisätyn todellisuuden hyödyntämistä rakentamisessa on alettu tutkia ainakin jo vuodesta 1996 saakka. Webster et al. (1996) tutkivat silloin prototyypissään, lisätyn todellisuuden ”röntgennäkö”-ominaisuutta pilarin raudoituksen analysoimiseen ja rakennetarkasteluun.

Froese (2010) on jakanut rakennusalan tieto- ja viestintäteknologioiden (engl. Information Communication and Technology, ICT) trendit kolmeen eri aikakauteen. Ensimmäinen aikakausi alkoi 1980-luvulla ja keskittyi työtehtäviä helpottaviin työkaluihin, kuten tietokoneavusteiseen suunnitteluun (engl. computer-aided design, CAD) ja rakenneanalyysi sovelluksiin. 1990-luvun puolivälissä alkoi toinen rakennusalan ICT:n aikakausi, jolloin keskityttiin tietokoneavusteiseen kommunikointiin, kuten sähköpostin, internetin ja dokumenttien hallintajärjestelmien käyttöön. Kolmas aikakausi alkoi 2000-luvulla ja sen suurin saavutus oli rakennusten tietomallien käyttöönotto ja kehittäminen rakennusprojektien suunnittelun ja hallinnan keskeiseen asemaan. Froesen (2010) tutkimuksen mukaan työmaakäytössä ICT-työkaluja ei vielä kuitenkaan hyödynnetä riittävästi. Tämän perusteella Wang ja Love (2012) esittävät rakennusalan ICT:n neljänneksi aikakaudeksi rakennusten tietomallin viemistä työmaakäyttöön lisätyn todellisuuden avulla. Heidän mukaan lisätty todellisuus voisi olla laajennettu versio rakennuksen tietomallista työmaalla.

Aikaisemmin lähihistoriassa, lisättyä todellisuutta ei ole juurikaan hyödynnetty rakennustyömailla johtuen sen seuranta-, sovitus- ja kohdistamisongelmista. Lisättyä todellisuutta on kuitenkin jo käytetty rakennuskohteen simuloinnissa sekä suunnitteluvaiheen apuvälineenä. Lisättyä todellisuutta on viime vuosina alettu käyttää työn edistymisen seurantaan ja virheiden havaitsemiseen. (Rankohi & Waugh 2013)

Lisätty todellisuus tarjoaa merkittäviä hyötyjä rakentamiseen, simuloinnin ja visualisoinnin avulla. Käyttäjän on mahdollista olla vuorovaikutuksessa todellisten ja virtuaalisten objektien kanssa samanaikaisesti. Lisäksi käyttäjä pystyy seuraamaan rakentamisen edistymistä vertaamalla suunnitelmia toteutuneeseen työhön. (Shin & Dunston 2008) Dongin ja Kamatin (2013) mukaan, lisätty todellisuus hyödyttää rakennusalaa ainakin kolmessa eri osa-alueessa: tiedonhaussa, visualisoinnissa ja vuorovaikutuksessa.

Rakennustyömiehen täytyy tavallisesti työskennellessään etsiä informaatiota ja työohjeita suunnitelmista ja piirustuksista. Työajasta kuluu merkittävä aika informaation et-

simiseen ja ymmärtämiseen, kun käytetään paperisia suunnitelmia. Onkin perusteltavissa, että suunnittelutietojen käytännöllisempi ja yksinkertaisempi esittäminen lisääisi työn tehokkuutta. Lisätty todellisuus mahdollistaa suunnittelutiedon esittämisen käyttäjälle vaivattomasti. Kokemusten perusteella ihmiset suosivat tietoa, joka on helposti saatavilla ja pyrkivät käyttämään olennaista tietoa päätöksenteossa. (Yoon & Hammer 1988)

Suuri osa rakennustyöstä vaatii lähimuistilta paljon resursseja. Monien töiden tarkka suorittaminen vaatii oleellisen tiedon lähimuistissa pitämisen lisäksi tiedon nopeaa käyttöä. Kognitiivisen psykologian perusteella tiedetään, että tiedon säilymistä lähimuistissa voidaan parantaa minimoimalla toimet tiedon etsimisen ja käyttämisen välillä. Lisätty todellisuus on lupaava tekniikka tämän ongelman helpottamiseen. Lisätyn todellisuuden avulla pystytään saumattomasti esittämään tehtävään tarvittava informaatio suoraan käyttäjän näkymään todellisen tehtävän kohteen päälle. Tällöin osa työmuistista vapautuu muuhun käyttöön. (Wang & Dunston 2006)

4.2 Teknologian käyttöönoton edellytykset

Regenbrechtin (2007) mukaan uuden teknologian käyttöönottoon johtavat kolme tekijää: ajan säästyminen, kustannusten aleneminen ja laadun paraneminen. Hän toteaa lisätyn todellisuuden sisältävän kaikki kolme tekijää. Hänen mukaansa on myös selvää, että lisätty todellisuus on nopeasti etenemässä arvoa tuottavaksi teknologiaksi teollisuuden tarpeisiin. Ennen kun lisättyä todellisuutta voidaan alkaa käyttämään rakennustyömaalla, on erityisen tärkeää tunnistaa sovelluskohteet, joissa lisätty todellisuus parantaisi työn tehokkuutta. (Rankohi & Waugh 2013)

Mahdollisia tekijöitä, jotka vaikuttavat lisätyn todellisuuden käyttöönottoon rakennustyömaalla, ovat sen tarjoama sisältö, ominaisuudet ja arvo. Sisällöltään lisätyn todellisuuden pitää olla sellaista, että siitä saadaan reaaliaikaista informaatiota ja historiallista tietoa rakennuksesta yhdistettynä projektin informaatioon. Ominaisuuksilta vaaditaan, että lisätyn todellisuuden käyttö on käyttäjäystävällistä. Sen tulee olla myös yhdistettävissä projektin työtehtäviin ja työvaiheisiin, siten että projektin seuranta onnistuu reaaliajassa koko projektin ajan. Arvolla tarkoitetaan kohtuullisia hankinta- ja käyttökustannuksia sekä lisätyn todellisuuden käytöstä saatavaa lisäarvoa. Lisäksi laitteistojen takaisinmaksuajan tulee olla lyhyt. (Rankohi & Waugh 2013)

4.3 Suunnitelmien visualisointi

Nykyään monilla rakennustyömailla on jo käytössä kolmi- tai nelikulotteinen (3D/4D) rakennuksen tietomalli (engl. building information model, BIM) (Woodward et al. 2010). 4D-rakennuksen tietomallilla tarkoitetaan 3D-mallia, johon on lisätty aikatauluinformaatiota. Nämä mallit ovat jo osittain korvaamassa perinteisiä piirustuksia, informaation läh-

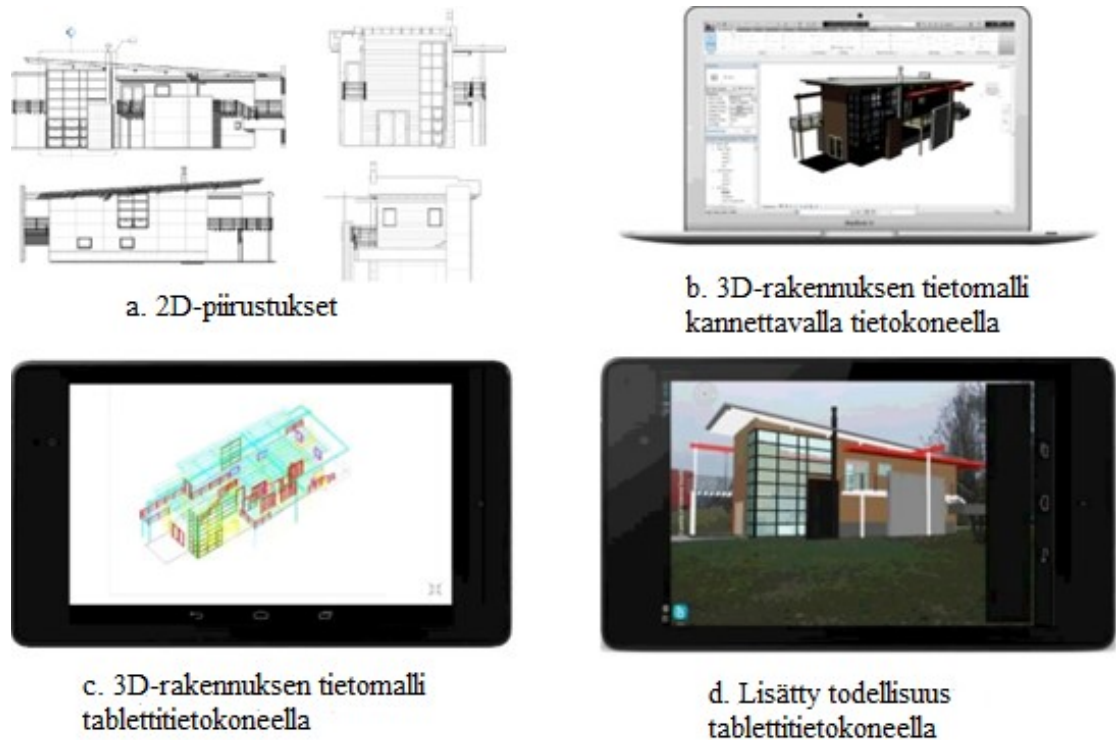
teenä rakennustyöntekijöille. Rakennuksen tietomalleja käytetään kuitenkin pääasiallisesti työmaatoimistolta pöytätietokoneelta käsin eikä itse rakennuskohteessa. Yhdistämällä lisätyn todellisuuden 4D-rakennuksen tietomalliin voitaisiin helpottaa rakennuskohteessa suunnitelmien vertaamista todelliseen tilanteeseen. (Woodward et al. 2010)

Eräs ongelma, johon lisätty todellisuus tarjoaa helpotusta, on tiedon siirtyminen työmaalle. Rakennuksen tietomallin ja lisätyn todellisuuden yhdistelmällä päästään käsiksi piirustuksiin ja informaation, siellä missä niitä tarvitaan. Käytännössä tämä onnistuu valitsemalla lisätyn todellisuuden näkymästä rakennusosa, josta halutaan saada informaatiota. Tämän jälkeen käyttäjä saa käyttöönsä kaikki piirustukset, kyseisestä rakennusosasta. (Wang et al. 2014)

Suunnittelutietoihin käsiksi pääseminen paikan päällä rakennustyömaalla, tarpeen vaatiessa ja vaivattomasti, luo merkittävän mahdollisuuden parantaa päätöksentekoa rakentamisvaiheessa. Suunnittelutiedon ollessa helposti saatavilla on mahdollista tunnistaa, käsitellä ja havaita ongelmia sekä ristiriitoja paremmin. Nopea pääsy suunnittelutietoon auttaa myös työnjohtoa päättämään ennakoivasti korjaavista toimenpiteistä ja minimoimaan kustannuksia ja aikatauluviiästyksiä. (Bae et al. 2013, katso Golparvar-Fard et al. 2012)

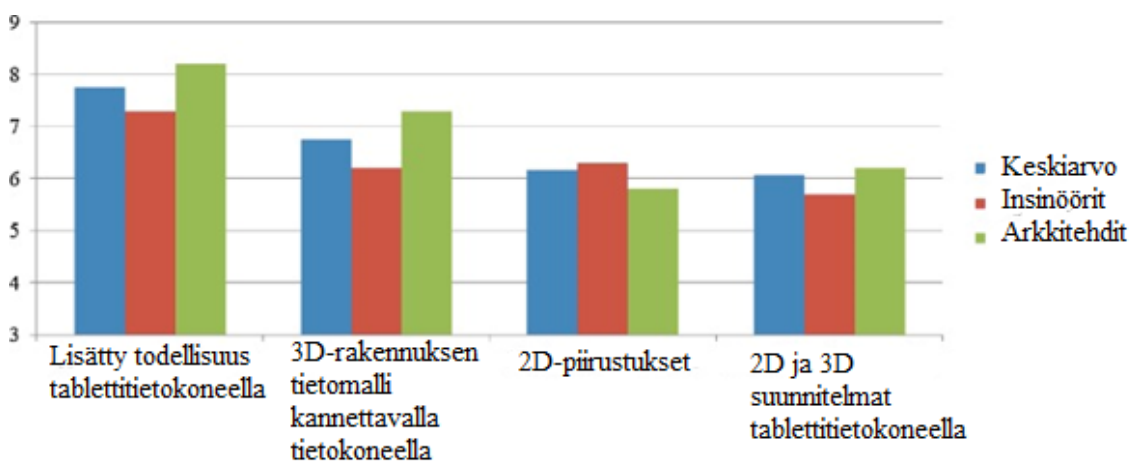
Työskentely-ympäristö muuttuu rakennustyömailla jatkuvasti. Tarvitaan esimerkiksi väliaikaisia kaiteita, putoamissuojia sekä telineitä. Lisätyn todellisuuden avulla voidaan havainnollistaa väliaikaisia objekteja ja järjestelyjä interaktiivisesti paikan päällä ja sitä kautta parantaa työturvallisuutta (Woodward et al. 2010).

Mežan et al. (2015) suorittamassa haastattelututkimuksessa verrattiin suunnitelmien esittämistä lisätyn todellisuuden avulla, muihin perinteisempiin esitystapoihin. Nämä esitystavat olivat paperipiirustukset, rakennuksen tietomalli tietokoneella ja rakennuksen tietomalli tablettitietokoneella (kuva 6).



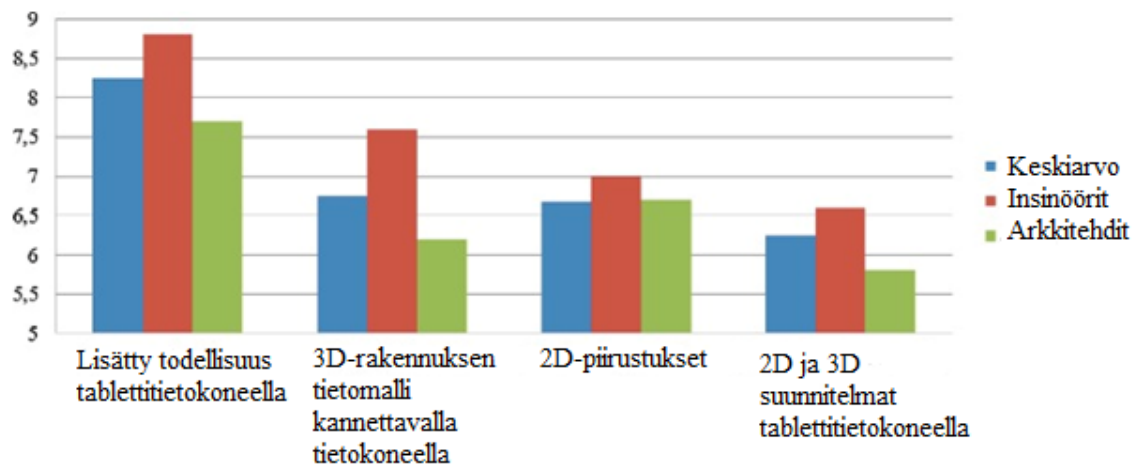
Kuva 6 Keskenään vertailut visualisointimuodot (Muokattu lähteestä Meža et al. 2015)

Heidän tavoitteena oli saada empiiristä näyttöä sille, että lisätty todellisuus ei ole vain toteutettavissa, vaan myös hyödyllinen apuväline rakentamisessa. Haastattelututkimuksessa haastateltiin 15 henkilöä, jotka koostuivat arkkitehdeistä ja rakennusinsinööreistä. Haastattelututkimus suoritettiin Sloveniassa, tammikuussa 2014. Haastateltavilta kysyttiin muun muassa suunnitelmien ymmärrettävyyttä sekä käytettävyyttä eri esitysmuodoissa.



Kuva 7 Projektidokumenttien ymmärrettävyys eri visualisointimuodoissa (Muokattu lähteestä Meža et al. 2015)

Tutkimuksen tulokset eli suunnitelmien ymmärrettävyys, eri esitysmuodoissa (kuva 7) ja suunnitelmien käytettävyys, eri esitysmuodoissa (kuva 8) nähdään pylväsdiagrammeista. Tutkimuksen otanta on melko pieni, mutta tuloksia voidaan silti pitää suuntaa antavina.



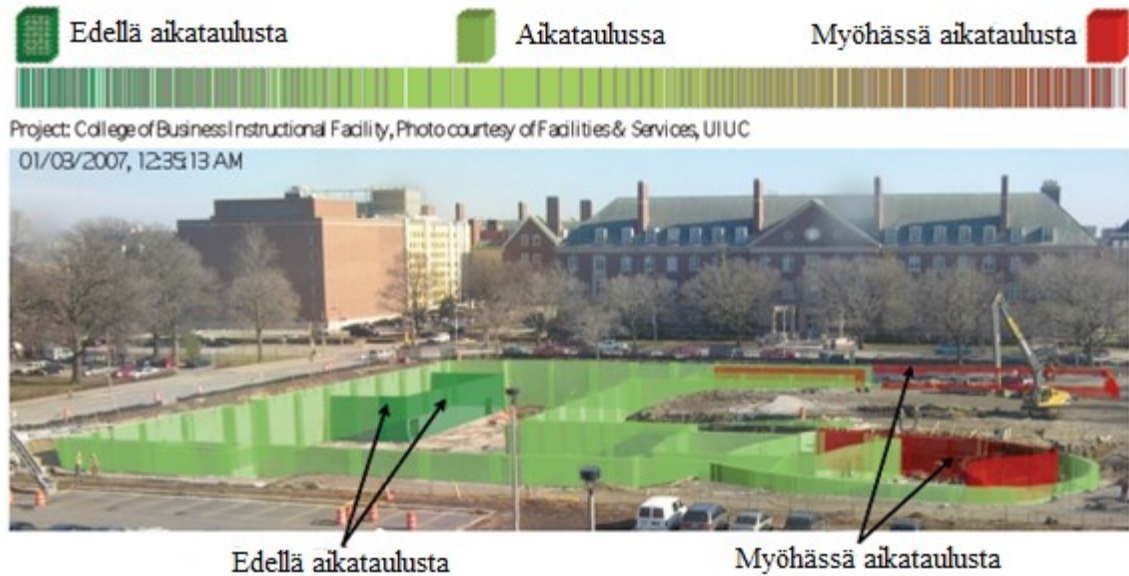
Kuva 8 Projektidokumenttien käytettävyys eri visualisointimuodoissa (Muokattu lähteestä Meža et al. 2015)

Lisätty todellisuus sai korkeimmat pisteet, ymmärrettävyydessä ja käytettävyydessä. Tämän perusteella voidaan päätellä, että lisätty todellisuus on todennäköisesti toimiva teknologia rakennusalalla, suunnitelmien visualisoinnissa.

4.4 Rakennusprojektin seuranta

Erilaiset työmaalla tehtävät tarkastukset vievät pääosan (38%) työnjohtajien työajasta (Park et al. 2013). Tarkastukset sisältävät fyysistä tarkastamista sekä kirjaamista ja raportointia, monimutkaisistakin työsuoritteista. Park et al. mukaan (2013) rakennusalalla on tarvetta tarkastusten automatisoinnin mahdollistaville työkaluille, jotka ovat yhteydessä sähköiseen informaatioon rakennuksesta.

Työnjohdon ja työmaainsinöörien työhön kuuluu jatkuva raportoiminen suoritetusta työstä. Mallipohjaisessa projektin seurannassa suoritettu työ merkitään tietomalliin merkkamalla siihen rakennetut rakennusosat. Työn edistymistä voidaan havainnollistaa lisätyn todellisuuden avulla työmaalla, esimerkiksi esittämällä rakennusosat eri väreillä (kuva 9).



Kuva 9 Aikatauluseuranta lisätyn todellisuuden avulla (Muokattu lähteestä Mani et al. 2009)

Värit kuvaavat poikkeamia aikataulusta, kuten myöhässä aikataulusta, aikataulussa tai edellä aikataulua. Tämä auttaa tunnistamaan olemassa olevia tai mahdollisia tulevia ongelmia, liittyen rakennusmateriaalien tuotantoon ja toimituksiin. (Wang et al. 2013)

4.5 Virheiden havaitseminen

Virhe voidaan määritellä sellaiseksi työsuorituksiksi, joka tehtiin alun perin väärin ja vaatii suorituksen uudelleen tekemistä tai korjaustoimenpiteitä (Love 2002). Mills et al. (2009) tutkimuksen mukaan virheistä aiheutuneiden kustannusten osuus uuden asuinrakennuksen sopimushinnasta on keskimäärin 4%. On selvää, että virheistä aiheutuneilla kustannuksilla on merkittävä vaikutus rakennusprojektien kustannuksiin (Park et al. 2013).

Yksi esimerkki lisätyn todellisuuden työmaakäytöstä on törmäystarkastelu. Suunnitteluvaiheessa esimerkiksi talotekniikan osalta on jo tehty törmäystarkastelut, mutta silti ongelmia saattaa ilmaantua rakennusvaiheessa. Nämä ongelmat voivat johtua muun muassa suunnitelmien muutoksista tai asennusvirheistä. Haasteena on, kuinka pystytään selvittämään rakennusvaiheessa ilmenevät rakennusosien törmäykset ja reagoimaan niihin. Talotekniikkatyöt edellyttävät yhteistyötä eri urakoitsijoiden kesken. Kaikilla urakoitsijoilla saattaa olla käytössään vain omat suunnitelmat ja aikataulut, joiden perusteella he työskentelevät. Tämä voi aiheuttaa ongelmia. Käyttämällä lisättyä todellisuutta avukseen, pystyy työnjohtaja havaitsemaan potentiaalisia ongelmia, visualisoimalla rakennuksen tietomallin informaatiota rakennuskohteessa. (Wang & Love 2012)

Lisätty todellisuus mahdollistaa urakoitsijoiden suoritusten valvomisen, aikataulupoikkeamien havaitsemisen ja virheistä vastuullisten löytämisen. Tämä tapahtuu automatisoidun dokumentoinnin avulla, joka voidaan tehdä lisätyn todellisuuden välityksellä tallennettavaan tietoon rakennuskohteesta. Virheistä vastuullisen löytäminen on erityisen tärkeää erilaisten reklamaatioiden, vastuukysymysten ja riitatilanteiden kohdalla. Lisätty todellisuus helpottaa rakennustyömiesten itse tehdyn työn dokumentointia ja virhelähteiden ymmärtämistä. (Zollmann et al. 2014)

4.6 Kommunikointi

Rakennusalalla, toimiva yhteistyö on perusedellytys kaikkien projektien onnistumiselle. Jokainen rakentamisen vaihe, suunnittelusta toteutukseen, sisältää monien eri tahojen yhteistyötä. Yhteistyötä vaaditaan esimerkiksi tilaajan, urakoitsijan, arkkitehtien ja insinöörien kesken. Lisäksi rakennusprojektit edellyttävät urakoitsijan ja lukuisien aliurakoitsijoiden välistä yhteistyötä. Yhteistyön toimimisella on suuri merkitys mahdollisten ongelmien ratkaisemiseen, jotka saattavat ilmetä rakennusprojektin aikana. (Ergen et al. 2007; Tsai et al. 2014)

Ongelmana saattaa kuitenkin olla halutun viestin perille saaminen projektin eri tahojen välillä. Tästä onkin tullut suuri haaste rakennusalan projektien hallinnassa. Väärinymmärrykset voivat johtaa työn tehokkuuden heikkenemiseen, tarpeettomiin riitoihin ja pahimmassa tapauksessa jopa välirikkoihin toimijoiden kesken. (Al-Hammad et al. 1997) Tiedonkulun häiriöt johtuvat useimmiten osapuolten erilaisista ammattitaustoista (Liu et al. 2015).

Liu et al. (2015) mukaan lisätyn todellisuuden avulla esitetty informaatio vähensi sen etsimiseen ja ymmärtämiseen käytettyä aikaa. Tiedonkulun häiriöitä pystytään minimoimaan, visualisoimalla tärkeät ”viestit”, jotka halutaan saada jaettua projektin muille osapuolille. Rakennusalan ammattilaiset voisivat hyötyä lisätyn todellisuuden avulla tiedon jakamisesta, monissa merkittävässä päätöksentekotilanteissa. Yhteenvetona, lisätyn todellisuuden avulla pystytään parantamaan yhteistyötä ja kommunikointia rakennusprojektin aikana.

4.7 Koulutus

Limsupreeyarat et al. (2010) ovat tutkineet lisätyn todellisuuden hyödyntämistä rakentamisen työturvallisuuskoulutuksessa. Tutkimuksessa simuloitiin korkealla tapahtuvia työtehtäviä, joihin liittyi putoamisvaara, lisätyn todellisuuden avulla. Heidän mukaan työmaalla suoritettava turvallisuuskoulutus, lisättyä todellisuutta apuna käyttäen, on tehokkaampaa verrattuna toimistossa tapahtuvaan koulutukseen. Paikan päällä työmaalla suoritettava koulutus auttaa työntekijöitä ymmärtämään turvallisuusriskit paremmin, ja sen kuinka turvallisuutta tulee parantaa.

Lisätty todellisuutta voidaan myös hyödyntää raskaiden työkonoiden ja ajoneuvojen käyttökoulutuksessa. Nykyään koulutus rajoittuu työmaiden ulkopuolelle, mikä antaa koulutettavalla rajalliset mahdollisuudet tutustua todellisessa työmaaympäristössä työskenteleeseen. Työmaalla tapahtuvan koulutuksen rajoitteina ovat sen kallis hinta ja toteutettavuus. Lisätyn todellisuuden avulla olisi mahdollista kouluttaa koneiden käyttöä, todentuntuisessa työmaaympäristössä, menemättä kuitenkaan itse työmaalle. (Wang & Dunston 2007)

4.8 Lisätyn todellisuuden käyttökohteet työmaalla

Shin ja Dunston (2008) arvioivat lisätyn todellisuuden soveltuvuutta 17 eri rakentamiseen liittyvään tehtävään. Heidän mukaan lisätyn todellisuuden hyödyntämisestä saavutettiin merkittävää etua kahdeksassa eri tehtävässä. Neljä niistä oli fyysisiä rakennustehtäviä. Yksi näistä tehtävistä oli elementtien sijoittelu ja sijoittelun tarkistaminen. Toinen heidän mainitsema työtehtävä oli maanrakennus eli kaivuutyöt. Kolmas oli mittojen ja etäisyyksien tarkistaminen. Neljäs työtehtävä oli tarkastaminen eli suoritettujen työn vertaamista suunnitelmiin. Loput neljä työtehtävää liittyivät työnjohtamiseen ja tiedonhallintaan. Nämä tehtävät olivat organisoiminen eli tulevien työtehtävien ja resurssien allokointi, töiden kommentointi, töiden valvonta ja työvaiheiden tarkan suoritusjärjestyksen selvittäminen.

Rakentamisessa tulee rakennusosien sijoittelun olla mahdollisimman tarkkaa. Lisätty todellisuus tarjoaa paljon eri vaihtoehtoja auttamaan sijoittelua, kuten putkien läpivientien osoittaminen ja raudoitusten sijoittelu. (Shin & Dunston 2008)

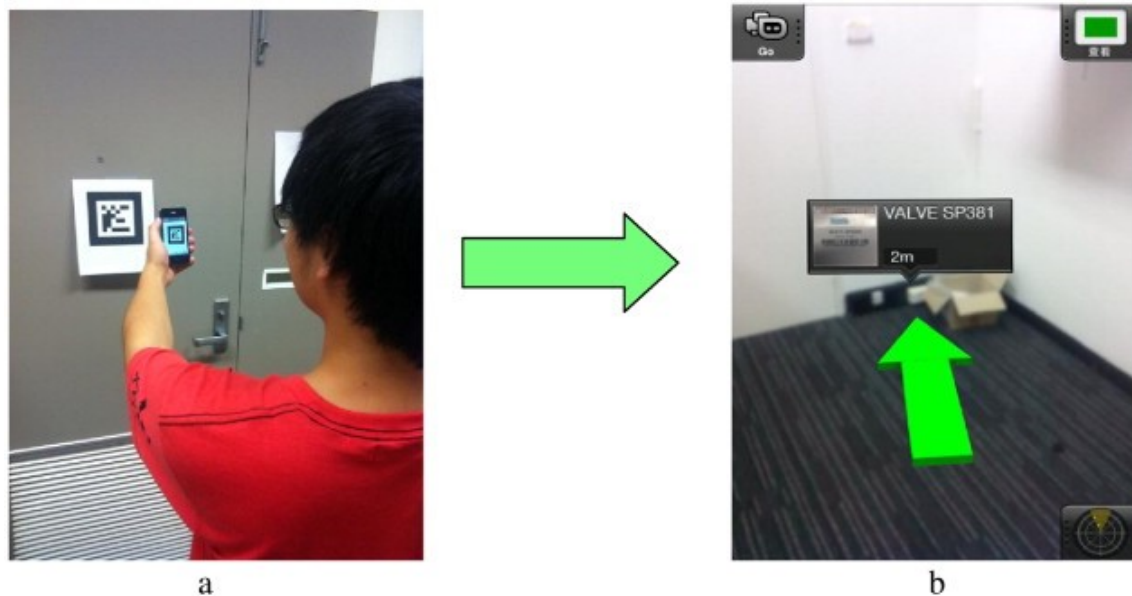
4.8.1 Maanrakennus

Yritykset, jotka ovat vastuussa maanalaisesta infrastruktuurista, kuten sähkö- ja tiedonsiirtoverkoista, käyttävät infrastruktuurin hoitamiseen apunaan paikkatietojärjestelmää (engl. geographic information system, GIS). Vakiintunut tapa rakennustyömailla on käyttää paperipiirustuksia, jotka piirretään kohteeseen tarpeen mukaan. Infrastruktuuriin mahdollisesti tehtävät muutokset piirretään näihin piirustuksiin käsin. 2D-piirustuksien käyttäminen vaatii mittasuhteiden, yksinkertaistuksien ja erilaisten merkintöjen ymmärtämistä, mikä voi olla vaikeaa kokeneellekin käyttäjälle, esimerkiksi maan ollessa lumen peitossa.

Lisätty todellisuus tarjoaa asianmukaisen vaihtoehdon paperipiirustuksille. Lisätyn todellisuuden avulla voidaan esittää 3D-kuvaa käyttäjän näkökenttään, jolloin saadaan aikaiseksi niin sanottu röntgennäkö, jonka avulla nähdään missä maanalainen infrastruktuuri sijaitsee. Tämän avulla pystytään paikantamaan maanalaiset objektit nopeammin ja tarkemmin, mikä vähentää riskiä vahingoittaa niitä kaivuutöiden aikana (kuva 4). (Schall et al. 2009)

4.8.2 Rakennusmateriaalien paikallistaminen

Rakennuksen tietomallia, yhdistettynä lisättyyn todellisuuteen voidaan käyttää rakennusmateriaalien ja osien paikallistamiseen ja löytämiseen. Esimerkkiskenaariossa käyttäjä yrittää löytää varastorakennuksesta erään venttiilin. Venttiilin laatikko on varustettu radiotaajuuden etätunnistus tágillä (engl. radio frequency identification tag, RDIF-tag). Venttiiliä etsivä henkilö ei tiedä, missä se sijaitsee, koska varastorakennuksessa on tuhansia saman näköisiä laatikoita. Venttiiliä etsivä henkilö asettaa venttiilin numerokoodin mobiililaitteeseen ja skannaa varaston ovella sijaitsevan vertailumarkkerin (kuva 10 a) (engl. reference marker). Tämän jälkeen mobiililaitteen näytölle ilmestyy vihreä nuoli, joka osoittaa venttiilin sijainnin suunnan ja arvion etäisyydestä. Henkilön seurattessa nuolta, löytää hän etsimänsä venttiilin (kuva 10 b). (Wang et al. 2014)



Kuva 10 Rakennusmateriaalin paikallistaminen (Wang et al. 2014)

Rakennusmateriaalien paikallistamisella, edellä kuvatulla tavalla, vältetään materiaalien ja tarvikkeiden etsimiseen työmaalla käytettyä hukka-aikaa. Lisäksi on mahdollista selvittää, onko kyseistä materiaalia tai tarviketta edes työmaalla ja siten helpottaa materiaalien hallintaa ja tukea hankintaa.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä selvitettiin lisätyn todellisuuden hyödyntämismahdollisuuksia rakennustyömaa käytössä. Kirjallisuusselvityksen perusteella lisätylle todellisuudelle löytyi monia käyttökohteita, joissa siitä saadaan hyötyä rakennustyömaalla. Käyttökohteita olivat muun muassa: suunnitelmien visualisointi, rakennusprojektin seuranta, koulutus, kommunikointi ja virheiden havaitseminen. Yhteenvedona voidaan todeta, että lisätylle todellisuudelle löytyy monia käyttökohteita rakennustyömaakäyttöön.

Jotta lisätty todellisuus saataisiin rakennusalalla työmaakäyttöön, pitää se ensin saada toimimaan luotettavasti ja tarkasti muuttuvassa ympäristössä, sekä sisätiloissa että ulkona. Järjestelmän tulee lisäksi toimia ilman mittavia esivalmisteluja ja oltava helposti käytettävä ja liikuteltava. Lisätyn todellisuuden käyttö ei saa häiritä tai vaarantaa työntekoa, esimerkiksi rajoittamalla käyttäjän näkökenttää todellisesta ympäristöstä. Lisätyn todellisuuden pitää olla ominaisuuksiltaan sellainen, että siitä saadaan reaaliaikaista informaatiota ja historiallista tietoa rakennuksesta yhdistettynä projektin informaatioon. Sen käytön pitää olla käyttäjäystävällistä ja yksinkertaista. Sen tulee olla myös yhdistettävissä projektin työtehtäviin ja työvaiheisiin, siten että projektin seuranta onnistuu reaaliajassa koko rakennusprojektin ajan. Lisätyn todellisuuden laitteistoilla pitää olla kohtuulliset hankinta- ja käyttökustannukset. Lisäksi laitteistojen takaisinmaksuajan tulee olla lyhyt.

Lisätty todellisuus on monipuolinen teknologia, joka on kehittynyt viime vuosina huomattavasti. Erityisesti mobiililaitteiden nopea kehittyminen tarjoaa lisätyn todellisuuden käytön leviämislle hyvät edellytykset. Mobiililaitteissa on valmiiksi jo kaikki tarvittava tekniikka lisätyn todellisuuden tarpeisiin. Tämän lisäksi mobiililaitteet ovat kaikkien saatavilla ja käytettävissä, joten suuria investointeja kalliisiin laitteisiin ei välttämättä tarvita.

Lisätyn todellisuuden hyödyntäminen rakentamisessa on ollut selvästi sidoksissa muilla toimialoilla tapahtuvaan kehitykseen. Rakennusalalla ei välttämättä haluta ottaa käyttöön uutta teknologiaa, ennen kuin se on selkeästi todettu toimivaksi ja luotettavaksi. Tässä asiassa on kuitenkin tapahtunut muutosta viime vuosina. Esimerkkinä rakennusyhtiö NCC on lähtenyt teknologiayritys Trimblen kanssa kehittämään Microsoft HoloLens lisätyn todellisuuden älylaseja, rakentamisen käyttötarpeisiin. ”Haluumme olla edelläkävijöitä ja visiomme on uudistaa toimialaa”, toteaa NCC:n projekti-insinööri Tuomas Lankinen. (NCC 2017)

5.1 Mahdollisia käyttöskenaarioita

Alaluvuissa 5.1.1 ja 5.1.2 hahmotellaan mahdollisia käyttöskenaarioita lisätylle todellisuudella työmaakäytössä. Nämä ovat henkilökohtaisia ehdotuksia, siitä mihin lisättyä todellisuutta voitaisiin käyttää rakennustyömaalla, perustuen lisätyn todellisuuden ominaisuuksiin ja aikaisempiin tutkimuksiin.

5.1.1 Etäyhteistyön käyttöskenaario

Ottaen huomioon lisätyn todellisuuden ominaisuudet, olisi se hyvä työkalu etäyhteistyöhön. Etäyhteistyö onnistuisi työmaan ja esimerkiksi toimistolla olevan suunnittelijan välillä vaivattomasti, koska molemmilla osapuolilla olisi käytössään sama näkymä kohteesta. Sama näkymä kohteesta helpottaa ohjeiden antamista, koska tällöin molemmat osapuolet tietävät heti, mistä asiasta puhutaan.

Etäyhteys lisätyn todellisuuden avulla mahdollistaa suunnittelijan piirtämään ja lisäämään työmaalla olevan käyttäjän näkymään ohjeita ja videoita, joista on apua ongelman ratkaisemiseksi. Tällöin työmaalla ilmenneeseen ongelmaan, johon tarvitaan suunnittelijan lausuntoa, saadaan ratkaisu, ilman että suunnittelijan pitää tulla käymään työmaalla henkilökohtaisesti.

Yksi mahdollisuus on myös merkitä lisätyn todellisuuden näkymän välityksellä rakennusosaan huomautuksia tai kysymyksiä. Nämä merkinnät tallentuisivat esimerkiksi rakennuksen tietomalliin ja niihin pystytään myöhemmin palaamaan. Ongelmakohtaan paikantaminen olisi vaivatonta. Esimerkkinä kantavaan seinään voitaisiin merkitä kysymys: ”saako tästä porata 50mm reiän läpi?”. Kysymys välitettäisiin rakennesuunnittelijalla, joka voi merkitä vastauksen merkittyyneen kysymykseen. Kun kysymykseen on vastattu, välittyisi siitä tieto rakennustyömaalle. Tämän kaltaisella etäyhteistyöllä, kommunikoinnin ei tarvitsisi tapahtua reaaliajassa, mikä toisi lisää joustavuutta yhteistyöhön.

5.1.2 Korjausrakentamisen käyttöskenaario

Tulevaisuudessa lisätty todellisuus tuo paljon mahdollisuuksia korjausrakentamiseen. Kun rakennuksia, joista on rakennusvaiheessa tehty kattava rakennuksen tietomalli, aletaan tulevaisuudessa korjata, on lisätystä todellisuudesta suurta hyötyä. Lisätyn todellisuuden avulla pystytään silloin havaitsemaan piilossa olevia rakenteita, kuten sähköjohdot ja viemäriputkia. Tämä helpottaa korjaustoimenpiteiden suorittamista ja vähentää riskejä vahingoittaa vanhoja rakenteita.

Lisätty todellisuus mahdollistaa myös rakennuksen ylläpitovaiheessa tehtyjen korjaus- ja muutostoimenpiteiden kirjaamisen ja tallentamisen rakennuksen tietomalliin. Tällöin ra-

kennuksen tietomalli toimii niin sanottuna tietotopankkina, johon on koottu kaikki informaatio rakennuksesta, sen koko elinkaaren ajalta. Yhteen paikkaan koottu informaatio on helposti käytettävissä ja nopeasti löydettävissä, kun sitä tulevaisuudessa tarvitaan.

5.2 Ehdotuksia jatkotutkimukselle

Jatkotutkimusta kaivataan vielä lisätyn todellisuuden todellisesta työmaakäytöstä ja käyttökokemuksista. Pitäisi selvittää, kuinka lisätyn todellisuuden käyttäminen rakentamisessa vaikuttaa eri työtehtävistä suoriutumiseen, aikatauluun sekä kustannuksiin. Lisäksi lisätyn todellisuuden käytön vaikutuksista työturvallisuuteen olisi hyvä saada selvityksiä, ennen laajempaa käyttöönottoa.

Jotta korjausrakentamisen käyttöskenaariot olisi toteutettavissa, tarvitaan jokin järjestelmä ja taho, joka olisi vastuussa rakennusten tietomallien säilyttämisestä, jakamisesta ja päivittämisestä. Rakennusten tietomallien tulisi olla ajantasainen ja kaikkien sitä tarvitsevien saatavilla, jotta siitä olisi jatkossa hyötyä, korjausrakentamisessa ja rakennusten ylläpidossa. Siitä kuinka tämä saataisiin järjestettyä, olisi yksi varteenotettava aihe jatkotutkimuksia ajatellen.

LÄHTEET

Affinity VR. Augmented Reality to be implemented in Construction. Verkkoaineisto. Saatavissa (10.11.2017): <http://www.affinityvr.com/ar-in-construction/>.

Al-Hammad, A., Assaf, S. & Al-Shihah, M. (1997). The effect of faulty design on building maintenance. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. Vol. 3(1). pp. 29–39.

Architect. Three Augmented and Virtual Reality Apps for Design and Construction. Verkkoaineisto. Saatavissa (10.11.2017): http://www.architectmagazine.com/technology/products/three-augmented-and-virtual-reality-apps-for-design-and-construction_o.

Azuma, R.T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*. Vol. 6(4). pp. 355–385.

Bae, H., Golparvar-Fard, M. & White, J. (2013). High-precision vision-based mobile augmented reality system for context-aware architectural, engineering, construction and facility management (AEC/FM) applications. *Visualization in Engineering*. Vol. 1(1). pp. 1–13.

Behzadan, A.H., Dong, S. & Kamat, V.R. (2015). Augmented reality visualization: A review of civil infrastructure system applications. *Advanced engineering informatics*. Vol. 29(2). pp. 252–267.

Daqri. Daqri Smart Helmet. Verkkoaineisto. Saatavissa (10.11.2017): <https://daqri.com/products/smart-helmet/>.

Dong, S. & Kamat, V.R. (2013). SMART: scalable and modular augmented reality template for rapid development of engineering visualization applications. *Visualization in Engineering*. Vol. 1(1). pp. 1–17.

Ergen, E., Akinci, B. & Sacks, R. (2007). Life-cycle data management of engineered-to-order components using radio frequency identification. *Advanced Engineering Informatics*. Vol. 21(4). pp. 356–366.

Fetters, Z. (2017). What is markerless Augmented Reality | AR Bites. Marxent Labs. Verkkoaineisto. Saatavissa (13.11.2017): <https://www.marxentlabs.com/what-is-markerless-augmented-reality-dead-reckoning/>.

Froese, T.M. (2010). The impact of emerging information technology on project management for construction. *Automation in Construction*. Vol. 19(5). pp. 531–538.

Fua, P. & Lepetit, V. (2007). Vision Based 3D Tracking and Pose Estimation for Mixed Reality. *Emerging Technologies of Augmented Reality: Interfaces and Design*. pp. 1–22.

Furht, B. (2011). *Handbook of Augmented Reality*, 1st; 1 ed. Springer Verlag. New York. NY.

Limsupreeyarat, P., Yabuki, N. & Tongthong, T. (2010). Toward the improvement of safety planning for construction activities performed at high elevation by using augmented reality. pp. 9.

Liu, C., Lin, T., Tsai, M. & Kang, S. (2015). Using Augmented Reality in a Multiscreen Environment for Construction Discussion. *Journal of Computing in Civil Engineering*. Vol. 29(6). pp. 4014088.

Love, P.E.D. (2002). Influence of Project Type and Procurement Method on Rework Costs in Building Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 128(1). pp. 18–29.

Mani, G., Feniosky, P. & Savarese, S. (2009). D4AR-A 4-dimensional augmented reality model for automating construction progress monitoring data collection, processing and communication. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*. Vol. 14. pp. 129–153.

Meža, S., Turk, Ž & Dolenc, M. (2015). Measuring the potential of augmented reality in civil engineering. *Advances in Engineering Software*. Vol. 90 pp. 1–10.

Microsoft. Microsoft HoloLens. Verkkoaineisto. Saatavissa (10.11.2017): <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>.

Mills, A., Love, P.E.D. & Williams, P. (2009). Defect Costs in Residential Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 135(1). pp. 12–16.

NCC. NCC siirtyy HoloLens-aikaan rakennusalan kärjessä. Verkkoaineisto. Saatavissa (17.11.2017): <https://www.ncc.fi/media/ajankohtaista/ncc-siirtyy-hololens-aikaan-rakennusalan-karjessa/>.

Nuutinen, P. (2011). Lisätyn todellisuuden hyödyntäminen suunnittelukatselmoinnissa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere.

Park, C., Lee, D., Kwon, O. & Wang, X. (2013). A framework for proactive construction defect management using BIM, augmented reality and ontology-based data collection template. *Automation in Construction*. Vol. 33. pp. 61–71.

Rankohi, S. & Waugh, L. (2013). Review and analysis of augmented reality literature for construction industry. *Visualization in Engineering*. Vol. 1(1). pp. 1–18.

Regenbrecht, H. (2007). *Industrial Augmented Reality Applications. Emerging Technologies of Augmented Reality: Interfaces and Design*. pp. 283–304.

Ren, D., Goldschwendt, T., Chang, Y. & Hollerer, T. (2016). Evaluating wide-field-of-view augmented reality with mixed reality simulation. 2016 IEEE Virtual Reality (VR). IEEE. pp. 93–102.

Schall, G., Mendez, E., Kruijff, E., Veas, E., Junghanns, S., Reitingner, B. & Schmalstieg, D. (2009). Handheld Augmented Reality for underground infrastructure visualization. *Personal and Ubiquitous Computing*. Vol. 13(4). pp. 281–291.

Shin, D.H. & Dunston, P.S. (2008). Identification of application areas for Augmented Reality in industrial construction based on technology suitability. *Automation in Construction*. Vol. 17(7). pp. 882–894.

Siltanen, S. (2012). Theory and applications of marker-based augmented reality. VTT Science 3. VTT.

Tsai, M., Kang, S. & Hsieh, S. (2014). Lessons learnt from customization of a BIM tool for a design-build company. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*. Vol. 37(2). pp. 189–199.

Wang, X.Y., Truijens, M., Hou, L., Wang, Y. & Zhou, Y. (2014). Integrating Augmented Reality with Building Information Modeling: Onsite construction process controlling for liquefied natural gas industry. *Automation in Construction*. Vol. 40 pp. 96–105.

Wang, X. & Dunston, P.S. (2006). Compatibility issues in Augmented Reality systems for AEC: An experimental prototype study. *Automation in Construction*. Vol. 15(3). pp. 314–326.

Wang, X. & Dunston, P.S. (2007). Design, strategies, and issues towards an Augmented Reality-based construction training platform. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*. Vol. 12. pp. 363–380.

Wang, X. & Love, P.E.D. (2012). BIM + AR: Onsite information sharing and communication via advanced visualization. *Proceedings of the 2012 IEEE 16th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD)*. IEEE. pp. 850–855.

Wang, X., Love, P.E.D., Kim, M.J., Park, C., Sing, C. & Hou, L. (2013). A conceptual framework for integrating building information modeling with augmented reality. *Automation in Construction*. Vol. 34 pp. 37–44.

Webster, A., Feiner, S., MacIntyre, B., Massie, W. & Krueger, T. (1996). Augmented reality in architectural construction, inspection and renovation. pp. 913–919.

Woodward, C., Hakkarainen, M., Korkalo, O., Kantonen, T., Aittala, M., Rainio, K. & Kähkönen, K. (2010). Mixed reality for mobile construction site visualization and communication. *Proc. of the 10th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, 2010 (CONVR2010)*, 35 - 44, CONVR2010 Organizing Committee.

Yoon, W.C. & Hammer, J.M. (1988). Aiding the operator during novel fault diagnosis. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*. Vol. 18(1). pp. 142–148.

Zollmann, S., Hoppe, C., Kluckner, S., Poglitsch, C., Bischof, H. & Reitmayr, G. (2014). Augmented Reality for Construction Site Monitoring and Documentation. *Proceedings of the IEEE*. Vol. 102(2). pp. 137–154.