KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma / korjausrakentaminen ja rakennusrestaurointi

Mika Suhonen

LISÄTYN TODELLISUUDEN KÄYTTÖ RAKENTAMISESSA

Opinnäytetyö 2010

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikka

SUHONEN, MIKA	Lisätyn todellisuuden käyttö rakentamisessa
Opinnäytetyö	46 sivua
Työn ohjaajat	Lehtori Ilkka Paajanen, yliopettaja Tarmo Kontro
Toimeksiantaja	VTT
Kesäkuu 2010	
Avainsanat	lisätty todellisuus, laajennettu todellisuus, rakentaminen

Puhuttaessa lisätystä todellisuudesta tarkoitetaan todellisuuden näkymää, johon on lisätty virtuaalista informaatiota. Opinnäytetyössä tutkittiin lisätyn todellisuuden tämänhetkistä käyttöastetta ja mahdollisia tulevaisuuden sovellusalueita rakentamiseen liittyvissä tehtävissä. Tutkimus suoritettiin haastattelemalla VTT:n AR4BC–projektiin osallistuneita yrityksiä sekä tekemällä kirjallisuustutkimusta.

Tutkimuksessa havaittiin lisätylle todellisuudelle useita potentiaalisia käyttökohteita rakentamisen eri osa-alueilla. Lisätyn todellisuuden mahdollistavan teknologian todettiin tällä hetkellä olevan joiltain osin valmis täyttämään rakentamiseen liittyvät vaatimukset, esimerkiksi seurannan tarkkuuden osalta, ainoastaan tarkoin määrätyissä olosuhteissa. Useat erilaiset käyttöympäristöt kuitenkin aiheuttavat suuria vaihteluja järjestelmien toimintatarkkuuksissa. Haastattelujen perusteella lisätyn todellisuuden uskottiin tulevan laajempaan käyttöön noin viiden vuoden sisällä.

Lisätyn todellisuuden hyödyntämisestä koituvat edut useissa rakentamiseen liittyvissä tehtävissä olivat nähtävissä jo tämän hetkisen tutkimustiedon avulla. Lisätyn todellisuuden saattamiseksi laajamittaiseen käyttöön tarvitaan kuitenkin huomattava määrä lisää tutkimusta sekä teknologisia edistysaskelia.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU
University of Applied Sciences
Construction Engineering

SUHONEN, MIKA	Augmented Reality in Construction
Bachelor's Thesis	46 pages
Supervisors	Ilkka Paajanen, Senior Lecturer and Tarmo Kontro, Principal Lecturer
Commissioned by	VTT
June 2010	
Keywords	augmented reality, construction

Augmented reality is the term used for a live view of the physical environment augmented with computer-generated imagery. The potential applications of augmented reality are only limited by the imagination.

The aim of this thesis was to research the present use and possible future uses of augmented reality in various building construction-related tasks.

The research was conducted by interviewing the participants of VTT's AR4BC –project. Research methods also included investigating current scientific publications and other sources of information about augmented reality.

The research showed multiple potential applications within the construction field for augmented reality. The benefits of using augmented reality in construction-related tasks were apparent from the current research on the matter. However, further research and technological advancements would be required before augmented reality could be extended to widespread usage within the construction industry.

ALKUSANAT

Kiitän VTT:ta ja Kymenlaakson ammattikorkeakoulua tämän opinnäytetyön mahdollistamisesta. Lisäksi haluan kiittää erityisesti VTT:n tutkijaa Tatu Harviaista, tutkimusprofessori Charles Woodwardia sekä Kymenlaakson ammattikorkeakoulun lehtoria Ilkka Paajasta hyvistä neuvoista, tuesta ja ohjauksesta.

Haluan kiittää myös Marko Rajalaa (Tietoa Finland Oy), Jukka Suomea (Tekla Oy), Marko Ahoa (Tekla Oy), Hannele Vainiota (Skanska Oy), Jouni Muukkosta (Skanska Oy) sekä Juha Aspista (BuilderCom Oy) osallistumisesta haastatteluihini.

Suuri kiitos myös kotiväelle tuesta ja kestämisestä.

Kotkassa 13.9.2010

MIKA SUHONEN

Mika Suhonen

KÄSITTEISTÖ

Käsitteillä voi olla useita suomennoksia. Tässä opinnäytteessä käytetään tiedossa olevia käsitteitä.

3D–malli	Kolmiulotteinen virtuaalinen malli.
Aihion seuranta	Engl. template-based tracking. Ennalta määriteltyyn aihioon (esim. valokuva) perustuva seuranta. Ks. seuranta.
Haptinen palaute	Engl. haptic feedback. Kosketustuntemuksen välittäminen käyttäjälle joko voimien, värinöiden tai liikkeiden avulla.
Fotorealistinen	Engl. photorealistic. Virtuaalista kuvallista informaatiota jota ei voida erottaa silmämääräisesti todellisuudesta eli informaatio on valokuvamainen (foto).
Ihminen – tietokone -rajapinta	Engl. human-computer interface. Ks. käyttöliittymä.
Kalibrointi	Engl. calibration. Kalibrointi on mittaustulosten vertailua keskenään. Yhden tiedetyn tuloksen mukaan vertaillaan ja säädetään toisen mittauksen ja/tai laitteen tulosta mahdollisimman lähelle tiedettyä tulosta.
Kameran näkökenttä	Engl. field of view. Näkökenttä on se alue, jonka katsoja tai laite näkee sillä hetkellä.
Kohdistaminen	Engl. registration. Todellisen näkymän ja virtuaalisen objektin vastaavien pisteiden kohdistaminen toisiinsa.
Käyttöliittymä	Engl. user interface. Käyttöliittymä on se laitteen, ohjelmiston tai minkä tahansa muun tuotteen osa, jonka kautta käyttäjä käyttää tuotetta. Esimerkiksi tietokoneohjelmassa käyttöliittymä tarkoittaa sitä ohjelman osaa, jonka käyttäjä näkee tietokoneen näytöllä, ja sitä tapaa, jolla hän käyttää ohjelmaa.
Limitys	Engl. occlusion. Virtuaalisen tiedon osittainen piilottaminen todellisen objektin taakse.
Lisätty todellisuus	Engl. augmented reality. Lyhenne AR. Vaihtoehtoinen nimitys laajennettu todellisuus. Nimitys näkymälle, jossa todellisen ympäristön elementteihin lisätään tietokoneella luotua virtuaalista informaatiota.

Mahdollistava teknologia	Engl. enabling technology. Mahdollistava teknologia on keksintö tai innovaatio, joka aiheuttaa muutoksen käyttäjän tai kulttuurin mahdollisuuksissa.
Mallin seuranta	Engl. model-based tracking. 3D-mallin sovittamiseen todelliseen näkymään perustuva seuranta. Ks. seuranta.
Päässä pidettävä näyttö	Engl. head-mounted display, HMD ja head-worn display, HWD. Päässä pidettävä laite, jossa on näyttöruutu joko yhden silmän tai molempien silmien edessä.
Piirteen seuranta	Engl. feature-based tracking. Ympäristön selkeisiin piirteisiin, esim. rakennusten kulmiin, perustuva seuranta. Ks. seuranta.
Sensori	Engl. sensor. Sensori on laite, joka mittaa fysikaalista suuretta ja muuttaa sen käyttäjän tai instrumentin ymmärtämäksi signaaliksi.
Seuranta	Engl. tracking. Objektin seuranta tarkoittaa objektin sijainnin jatkuvaa tunnistamista, kun joko objekti tai sitä seuraava kamera tai sensori liikkuu.
Seurantamerkki	Engl. marker. Yleensä mustavalkea neliömäinen tai pyöreä merkki, jonka avulla voidaan seurata lisätty todellisuus –laitteiston liikkeitä.
Soviteltu todellisuus	Engl. mediated reality. Lisätyn todellisuuden muunnelma, jossa näkymästä voidaan poistaa todellisia objekteja peittämällä ne virtuaalisella informaatiolla.
Tietokonenäkö	Engl. computer vision. Teknologia, joka mahdollistaa koneille näön. Koneeseen on liitetty yksi tai useampi kamera, joiden välittämää kuvainformaatiota kone tulkitsee ohjelmistojen avulla, kuten esimerkiksi tunnistaa tietyn muotoisia hahmoja.
Vääristymä	Engl. distortion. Vääristymä on objektin, äänen, aallon tai muun informaation muodon tai muun ominaisuuden muutos alkuperäisestä.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEISTÖ
SISÄLLYS
1 JOHDANTO 8
2 LISÄTTY TODELLISUUS 8
2.1 Sovellusalueet 11
2.1.1 Lääketiede 11
2.1.2 Viihdeteollisuus 13
2.1.3 Sotateollisuus 16
2.1.4 Muita sovellusalueita 19
2.2 Mahdollistava teknologia 21
2.2.1 Näytöt 21
2.2.2 Seuranta 26
2.2.3 Visualisointi 30
2.2.4 Interaktio 31
2.3 Ongelmat ja jatkotutkimus 33
3 LISÄTYN TODELLISUUDEN KÄYTTÖ TÄMÄN PÄIVÄN RAKENTAMISESSA 34
4 LISÄTYN TODELLISUUDEN KÄYTTÖ TULEVAISUUDEN RAKENTAMISESSA 35
4.1 Visualisointi ja markkinointi 35
4.2 Suunnittelu 37
4.3 Rakennustoiminta 37
4.4 Korjausrakentaminen 39
4.5 Koulutus 39
5 PÄÄTELMÄT 40
LÄHTEET 41

1 JOHDANTO

Digitaalisten teknologioiden kehittyessä rakentamiseen liittyvän tekniikan on mahdollista kehittyä uudelle tasolle käyttäjäystävällisyyden ja tiedonvälityksen saralla. Lisätty todellisuus mahdollistaa runsaasti informaatiota sisältävien ja helppokäyttöisten rajapintojen eli käyttöliittymien kehittämisen ihmisen ja tietokoneen välille.

Ajatus opinnäytetyön aiheesta syntyi vuonna 2008 VTT:llä lisättyä todellisuutta tutkivan tutkija Tatu Harviaisen kanssa käymissäni keskusteluissa. VTT:llä oli kiinnostusta saada kerättyä tietoa rakennusalaan liittyvistä tutkimuksista sekä mahdollisista tulevaisuuden kehityssuunnista liittyen lisättyyn todellisuuteen. Tutkimus aloitettiin keväällä 2010, ja se toteutettiin haastattelemalla VTT:n AR4BC–projektissa mukana olleita tahoja sekä tutkimalla aiheeseen liittyvää kirjallisuutta ja tieteellisiä julkaisuja.

2 LISÄTTY TODELLISUUS

Lisätty todellisuus on keinotodellisuuden muunnelma. Keinotodellisuudelle on tyypillistä käyttäjän täydellinen uppoutuminen (engl. total immersion) synteettiseen maailmaan, jolloin hän ei näe todellista maailmaa ympärillään. Lisätyssä todellisuudessa käyttäjä näkee kuvan ympärillään olevasta todellisesta maailmasta, johon on liitetty tietokoneella luotuja virtuaalisia objekteja. Tästä johtuu nimi lisätty todellisuus, koska lisätty todellisuus lisää (laajentaa) todellisuutta eikä korvaa sitä kokonaan synteettisellä ympäristöllä. Ihannetilanne olisi, että käyttäjä kokisi todellisen maailman ja virtuaalisten objektien olevan samassa tilassa ilman, että todellisia ja virtuaalisia objekteja voisi erottaa toisistaan. Kuvassa 1 on todellinen kuva pöydästä, jonka päällä on todellinen puhelin, mutta pöydällä oleva lamppu sekä tuolit ovat virtuaalisia objekteja.

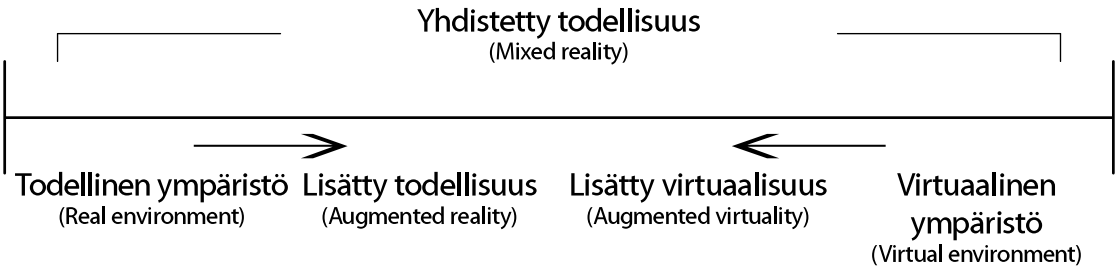
Kuva 1. Todellinen pöytä ja kaksi virtuaalista tuolia sekä virtuaalinen lamppu (Azuma 1997, 2).

Monet nykyaikaiset tietokonepohjaiset järjestelmät ovat vaikeita käyttää, mikä johtuu niiden monimutkaisista käyttöliittymistä. Monimutkaisuus johtuu järjestelmien kehittäjien kyvyttömyydestä suunnitella niin kutsutuille peruskäyttäjille suunnattuja käyttöliittymiä. Näitä vaikeaselkoisia käyttöliittymiä kutsutaankin leikkisästi nimellä ’insinööri-käyttöliittymä’, koska ne ovat ainoastaan käyttöliittymän suunnitelleen insinöörin ymmärrettävissä.

Lisätty todellisuus -tutkimus tähtää uusien ihminen – tietokone–rajapintojen kehittämiseen. Lisätyn todellisuuden avulla informaatio saadaan sijoitettua suoraan sinne, minne se kuuluu todellisessa maailmassa, eikä pöydällä sijaitsevan monitorin ruutuun. Lisätty todellisuus, lyhennettynä AR, yhdistää todellisuuden ja tietokoneella luodun virtuaalisen tiedon luonnollisesti helppokäyttöiseksi ja intuitiiviseksi käyttöliittymäksi.

Lisätty todellisuus vahvistaa käyttäjän näkemystä ja interaktiota todellisen maailman kanssa. Synteettiset objektit välittävät tietoa, jota käyttäjän omat aistit eivät pysty havaitsemaan. Tämä synteettisten objektien välittämä tieto auttaa käyttäjää suoriutumaan paremmin tosielämän tehtävistä. Lisätty todellisuus on hyvä esimerkki Frederick Brooksin käsitteestä *viisauden vahvistus* (engl. intelligence amplification) (Brooks 1996, 64), jossa todetaan tietokoneen olevan työkalu ihmisten työtehtävien helpottamiseen.

Lisättyä todellisuutta hyödyntäviä sovelluksia on luotu jo 1960-luvulta lähtien, esimerkkinä Heiligin Sensorama (Heilig 1962), mutta vasta 1990-luvulla lisätty todellisuus -tutkimus eriytyi virtuaalitodellisuuden tutkimuksesta, kun Milgram ja Azuma julkaisivat lisätty todellisuus -tutkimuksensa. Milgram julkaisi kuvassa 2 esitetyn ehdotuksensa 'todellisuus – virtuaalisuus-jatkumosta' (Reality-Virtuality Continuum), jossa lisätty todellisuus määriteltiin osaksi yhdistettyä todellisuutta (Milgram, Takemura, Utsumi & Kishino 1994, 2).



Kuva 2. Milgramin todellisuus – virtuaalisuus-jatkumo (Milgram et al. 1994, 2).

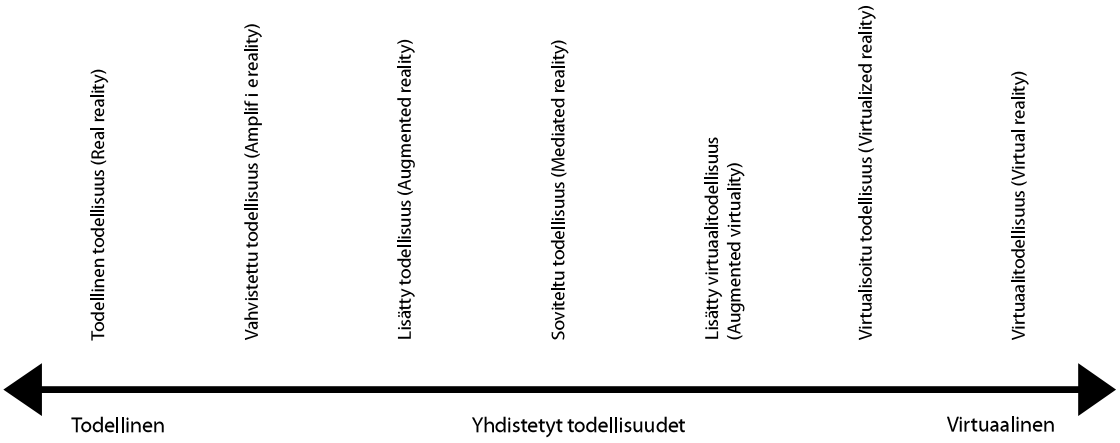
Milgramin jatkumo ehdottaa, että lisätty todellisuus on enemmän todellista informaatiota sisältävä ympäristö, kun taas lisätty virtuaalisuus on virtuaaliympäristö, johon on lisätty joitain todellisia elementtejä, kuten todellisella videomateriaalilla päällystettyjä virtuaalihahmoja. Näiden kahden ympäristön rajaa ei ole selkeästi määritelty Milgramin julkaisussa.

Azuma määritteli lisätty todellisuus -järjestelmien kolme perusvaatimusta (Azuma 1997, 2) seuraavasti:

1. Yhdistää todelliset ja virtuaaliset objektit todellisessa ympäristössä.
2. Toimii interaktiivisesti ja reaaliaikaisesti.
3. Kohdistaa todelliset ja virtuaaliset objektit toistensa kanssa.

Azuma huomauttaa (Azuma 2001, 34), ettei hänen määrittelynsä rajoita lisättyä todellisuutta mihinkään tiettyyn näyttöteknologiaan, kuten päässä pidettäviin näyttöihin, eikä myöskään rajoita sitä ainoastaan näköaistiin. Lisätty todellisuus voi sisältää informaatiota kaikille aisteille, kuten kuulo-, haju- tai kosketusaistille.

Schnabelin julkaisemassa ehdotuksessa todellisuus – virtuaalisuus-jatkumon tarkentamiseksi jatkumoon lisätään uusia todellisuuksia, kuten soviteltu todellisuus, jossa tietokoneella poistetaan joitain todellisia objekteja näkymästä (Schnabel 2007). Schnabelin jatkumo esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. ”Todellisuudet” todellisuudesta virtuaalitodellisuuteen (Schnabel 2007, 8).

Tässä tutkimuksessa käytetään selvyyden vuoksi laajempaa määritystä lisätystä todellisuudesta, jonka alaluokiksi voidaan laskea vahvistettu todellisuus sekä soviteltu todellisuus. (Azuma 2001, 34)

2.1 Sovellusalueet

Lisätylle todellisuudelle on havaittu rakentamiseen liittyvien tehtävien lisäksi useita mahdollisia sovellusalueita. Tutkimuksista voi päätellä kolmen suurimman tutkimusalueen olevan tällä hetkellä lääketiede, viihdeteollisuus ja sotateollisuus.

2.1.1 Lääketiede

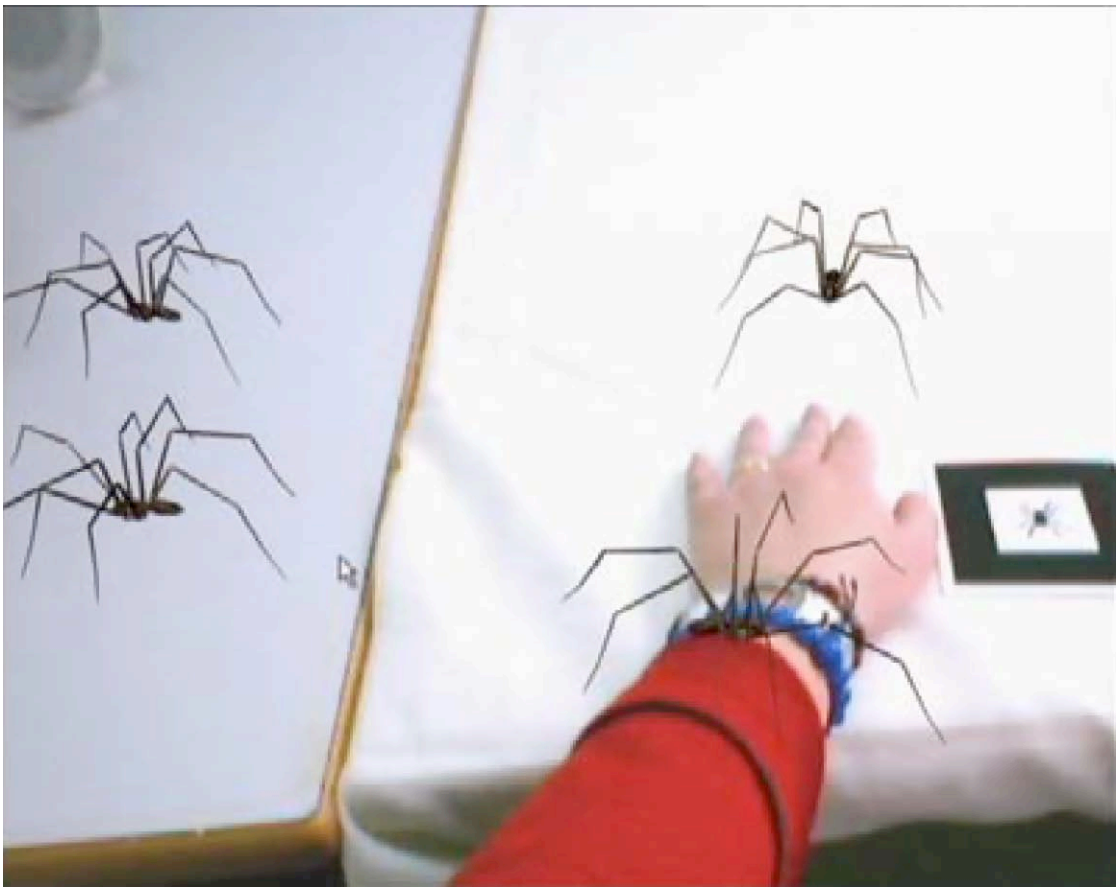
Koska kuvastusteknologia on laajalti käytössä lääketieteessä, ei ole ihme, että lisätty todellisuus nähdään erittäin hyödyllisenä tulevaisuuden kehityksenä tälle alalle. Ennen toimenpidettä potilaalle tehdyistä kuvauksista, kuten CT (engl. computed tomography) tai MRI (magneettikuvaus, engl. magnetic resonance imaging), pystytään luomaan tarpeelliset näkymät potilaan anatomiasta.

Esimerkiksi kasvaimen poistoa varten luodaan kolmiulotteinen malli edellä mainittujen kuvien perusteella ja tähän malliin luodaan ”polku”, jota pitkin kirurgi pääsee kasvaimen luokse vaivattomasti. Tämä polku sekä kolmiulotteinen malli heijastetaan potilaan keholle tarjoamaan kirurgille röntgenkatsemainen näkymä, joka helpottaa toimenpiteen suorituksessa. Kuvassa 4 potilaan luuranko heijastetaan hänen päällään olevaan heijastavaan materiaaliin ja lääkärin kädessä olevalla näyttölaitteella voidaan nähdä potilaan sisäelimet.

Kuva 4. ”Röntgenkatse” (3dvis 2010)

Lisätty todellisuus mahdollistaa myös toimenpiteiden harjoittelun ilman ohjekirjoja. Virtuaaliset objektit tarjoavat myös mahdollisuuden eri elinten tunnistamisen helpottamiseen ja täten vähentämään terveille elimille leikkauksesta koituvia haittoja. (Durlach 1995, 25)

Lisättyä todellisuutta on käytetty fobioiden, kuten hämähäkkifobian, hoitoon luomalla virtuaalisia hämähäkkejä potilaan näkökenttään. Potilas totutetaan asteittain sietämään hämähäkkejä läheisyydessään ja myöhemmässä vaiheessa (kuva 5) päällään. (Botella, Bretón-López, Quero, Baños & García-Palacios 2010.)



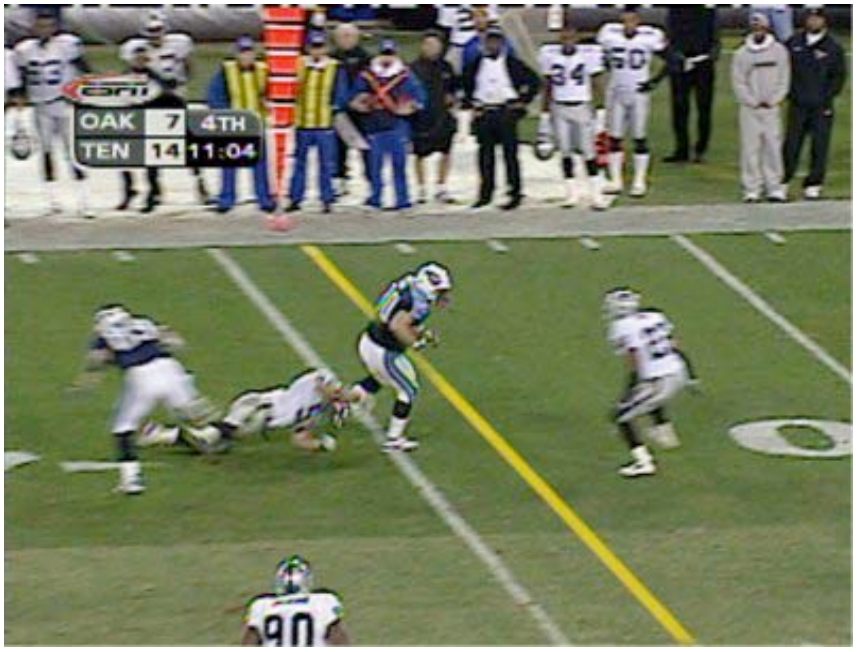
Kuva 5. Hämähäkkifobian hoitoa lisätyn todellisuuden avulla (Botella et al. 2010).

2.1.2 Viihdeteollisuus

Yksinkertaisia lisätyn todellisuuden sovelluksia on käytetty viihde- ja uutistuotannossa jo pitkän aikaa. Esimerkiksi sääennusteita esittävät meteorologit yhdistetään tietokoneella luotujen sääkarttojen kanssa yhdeksi kuvaksi. Studiossa meteorologi seisoo todellisuudessa sinisen tai vihreän kankaan edessä. Monet televisio-ohjelmat käyttävät myös virtuaalilavasteita, joissa osa lavasteista, kuten tuolit, joilla esiintyjät istuvat, ovat todellisia muiden lavasteiden ollessa tietokoneella luotuja. Tässäkin tapauksessa esiintyjät istuvat vihreillä seinillä varustetussa studiossa ja nämä seinät korvataan ennen lähetystä virtuaalilavasteilla. Kuvassa 6 esiintyjä on studiossa ennen ja jälkeen tietokoneella luotuja virtuaalilavasteita.

Kuva 6. Esiintyjä studiossa sinistä taustaa vasten ja esiintyjä virtuaalilavasteissa (California State University 2010).

Urheilulähetyksissä on myös nähty paljon lisättyä todellisuutta. Jääkiekkopeleissä kommentaattorit voivat visualisoida pelaajien ja kiekon liikkeitä piirtämällä kuvaan erinäisiä kuvioita. Amerikkalaisen jalkapallon lähetyksissä on lisätyn todellisuuden avulla esitetty linja (kuva 7), jolle hyökkäävän joukkueen on päästävä saadakseen uudet pelivuorot. (Wikipedia2 2010)

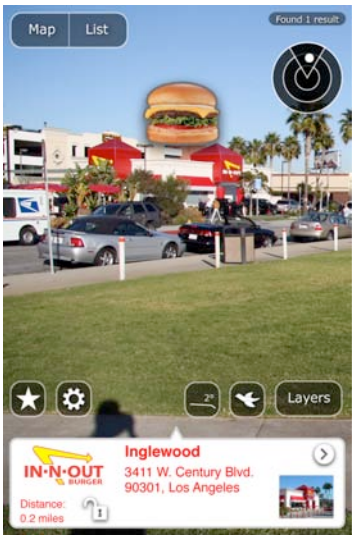


Kuva 7. 1st & Ten -viiva amerikkalaisessa jalkapallossa (Wikipedia2 2010).

Lisätty todellisuus on kiinnostanut myös peliteollisuutta. Sony toi vuonna 2003 markkinoille Playstation 2 -pelikonsoliin liitettävän EyeToy-kameran, jonka avulla pelaajat pystyivät omilla liikkeillään ohjaamaan pelejä. Kuvassa 8 pelataan EyeToy Kinetic -nimistä peliä, jossa pelaaja yrittää väistellä tai osua palloihin niiden väristä riippuen.

Kuva 8. PlayStation EyeToy Kinetic -peli (Video Games Blogger 2006).

Tämän hetkiset mobiililaitteet ovat myös tarpeeksi tehokkaita ja monipuolisilla sensoreilla varustettuja mahdollistamaan lisätty todellisuus –sovelluksia. Yksi tällainen sovellus on Layar Reality Browser (Layar 2010), joka on saatavilla Apple iPhone- sekä Google Android -mobiililaitteille. Layar-sovellus mahdollistaa erilaisten lisätietojen, kuten kuvassa 9 hampurilaisravintolan sijainnin, esittämisen mobiililaitteen näytöllä näkyvän todellisuuden päälle. Käyttäjä vain osoittaa mobiililaitteensa kameraa siihen suuntaan, mistä hän haluaa lisätietoja, ja Layar kertoo, mitä kyseisestä suunnasta löytyy.



Kuva 9. Layar Reality Browser -näyttökuva (Layar 2010).

2.1.3 Sotateollisuus

Lisättyä todellisuutta on käytetty hyväksi lentokoneiden heijastusnäytöissä (engl. head-up display, HUD) jo 1960-luvulta lähtien, kun ranskalainen koelentäjä Gilbert Klopfstein kehitti ensimmäisen modernin heijastusnäytön. Lentokoneiden heijastusnäyttöihin piirretään koneen ohjaajalle tärkeitä tietoja, kuten koneen kallistuskulma ja nopeus, jotta ohjaajan ei tarvitse laskea katsettaan alas mittareihin. Kuvassa 10 on näkymä McDonnell Douglas F/A-18C Hornet –hävittäjälentokoneen ohjaamossa olevasta heijastusnäytöstä.

Kuva 10. McDonnell Douglas F/A-18C Hornet -heijastusnäyttö (HUD) (Wikipedia1 2010).

Yhdysvaltojen tämän hetken moderneimmassa hävittäjälentokoneessa, Lockheed Martin F-35 Lightning II:ssa, on heijastusnäyttö korvattu kokonaan ohjaajan kypärään sijoitetulla päässä pidettävällä näytöllä. Kuvassa 11 on edellä mainittu kypärä. Tällaisen kypärän ja lentokoneen sensorien sekä kameroiden avulla pystytään tekemään lentokone ’näkymättömäksi’ ohjaajan näkökentässä, jolloin hän voi paremmin seurata, missä hänen kohteensa sijaitsee.

Kuva 11. Lockheed Martin F-35 Lightning II –hävittäjälentokoneen ohjaajan kypärä. Suomennettu kuva Marines Magazine –verkkolehden artikkelista. (Marines 2010.)

Sotilasilmailun kehityksen suunta painottuu tällä hetkellä miehittämättömien lentoalusten kehittämiseen. Näiden alusten ohjausjärjestelmät käyttävät lisättyä todellisuutta hyväkseen erittäin paljon välittäessään alusten ohjaajille maassa sijaitseviin ohjauskeskuksiin erilaista tietoa lentämisestä maalintunnistukseen (Göktoğan & Sukkarieh 2005). Tällaista kauko-ohjaustekniikkaa kutsutaan nimellä telerobotiikka.

Telerobotiikka soveltuu hyvin myös vaarallisissa olosuhteissa suoritettaviin tehtäviin, kuten ydinvoimaloiden puhdistustehtäviin tai pommien purkuun. Kuvassa 12 esitetään brittiläinen Cutlass Main Explosive Ordnance Disposal Remote Controlled System –pomminpurkurobotti.

Kuva 12. Cutlass–pomminpurkurobotti. (Rheinmetall Defense 2005)

Yhdysvaltojen armeijalla on kehitteillä Future Force Warrior –ohjelma, jossa sotilaat varustetaan erilaisilla sensoreilla ja näiden sensorien tuottama tieto välitetään suoraan kuvassa 13 näkyvään sotilaan visiirinäyttöön (Wikipedia3 2010).

Kuva 13. Future Force Warrior (Wikipedia3 2010).

2.1.4 Muita sovellusalueita

Edellä mainittujen kolmen sovellusalueen lisäksi on tunnistettu useita muita alueita, jotka voisivat hyötyä lisätyn todellisuuden tarjoamista mahdollisuuksista.

Autoteollisuus on varustanut huippumallejaan lentokoneista tutuilla heijastusnäytöillä tarjoten auton kuljettajalle esimerkiksi nopeustiedon tai navigointiohjeet ilman, että kuljettajan täytyy siirtää katsettaan mittaristoon. Joissain malleissa on jopa lisätty yönäkökamera auton keulaan, ja tämän välittämä tieto heijastetaan kuvan 14 osoittamalla tavalla kuljettajan näkökenttään.

Kuva 14. Yönäkö autossa (Siemens 2005).

Huolto- ja korjaustehtävissä lisätty todellisuus tarjoaa mahdollisuuden esittää tarvittava ohjeistus suoraan käyttäjän näkökentässä. Kuvassa 15 näkyy vasemmalla mekaanikko käyttämässä Columbian yliopiston ARMAR–järjestelmän päässä pidettävää näyttöä ja oikealla hänen näkemänsä informaatio, kun hän huoltaa Rolls Royce DART 510 –moottoria. (Henderson 2010.)

Kuva 15. Mekaanikko hyödyntää ARMAR–järjestelmää. (Henderson 2010)

Lisätty todellisuus antaa museoille mahdollisuuden esittää kiinnostavaa lisätietoa näytteille asetetuista teoksista. Kuvassa 16 on Amsterdamissa sijaitsevan Allard Pierson –museon näyttely "A Future for the Past", jossa kävijät saavat liikuteltavien monitorien avulla lisätietoja teoksista. (Engadget1, 2010.)

Kuva 16. "A Future for the Past" –näyttelyn lisätty todellisuus -monitori. (Engadget1 2010)

Edellä mainittujen lisätyn todellisuuden sovellusalueiden lisäksi keksitään koko ajan uusia alueita. Mahdollistavan teknologian kehittyessä tulevaisuudessa lisättyä todellisuutta nähdään lähes kaikilla aloilla.

2.2 Mahdollistava teknologia

Lisätyn todellisuuden kannalta tärkein aisti on näkö. Uskottavan todellisen ja virtuaalisen tiedon yhdistämiseen näköaistia varten vaaditaan useita mahdollistavia teknologioita, kuten tarkka näyttö sekä tehokas katsojan ja ympäristön seuranta.

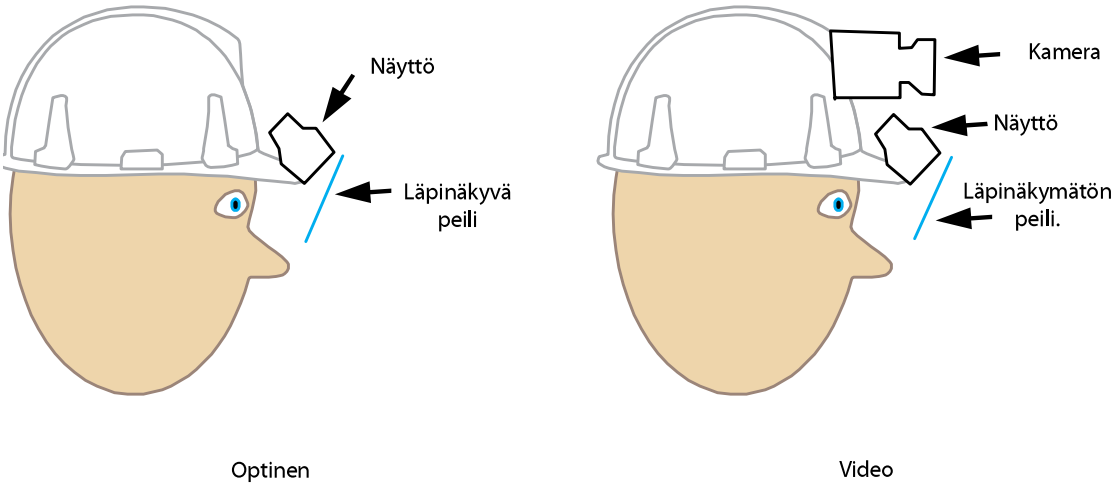
2.2.1 Näytöt

Lisätty todellisuus -näyttöteknologiat voidaan jakaa kolmeen kategoriaan (Azuma 2001, 35):

- päässä pidettävä (head worn)
- kädessä pidettävä (handheld)
- projisoitava (projective).

Päässä pidettävät näytöt

Päässä pidettävät näytöt voidaan jakaa kahteen luokkaan, optisiin näyttöihin sekä videonäyttöihin. Optisissa näytöissä käyttäjä näkee todellisuuden läpinäkyvän pinnan läpi ja näytöstä tuleva virtuaalinen informaatio liitetään tähän pintaan. Videonäytöissä todellisuus kuvataan päässä pidettävän kameran läpi ja videoinformaatio liitetään virtuaaliseen informaatioon ennen sen esittämistä käyttäjälle näytön kautta. Kuvassa 17 on periaatekuva päässä pidettävistä näytöistä.



Kuva 17. Optisen näytön ja videonäytön periaatekuva.

Molemmilla näyttötekniikoilla on omat hyvät ja huonot puolensa. Optinen näyttö on selkeästi parempi esittämään todellisuuden kuvan, koska tätä kuvaa ei käsitellä mitenkään tai esitetä näytöstä, jonka erottelukyky ei vastaa silmän erottelukykyä. Optinen näyttö myös säilyttää silmien syvyysvaikutelman muuttumattomana, kun taas videonäytöissä syvyysvaikutelma on toteutettava stereonäyttöjen avulla. Stereonäytöissä on molemmille silmille oma näyttö sekä oma kamera, jotka kuvaavat todellisuutta samoilta paikoilta kuin silmät luoden syvyysvaikutelman.

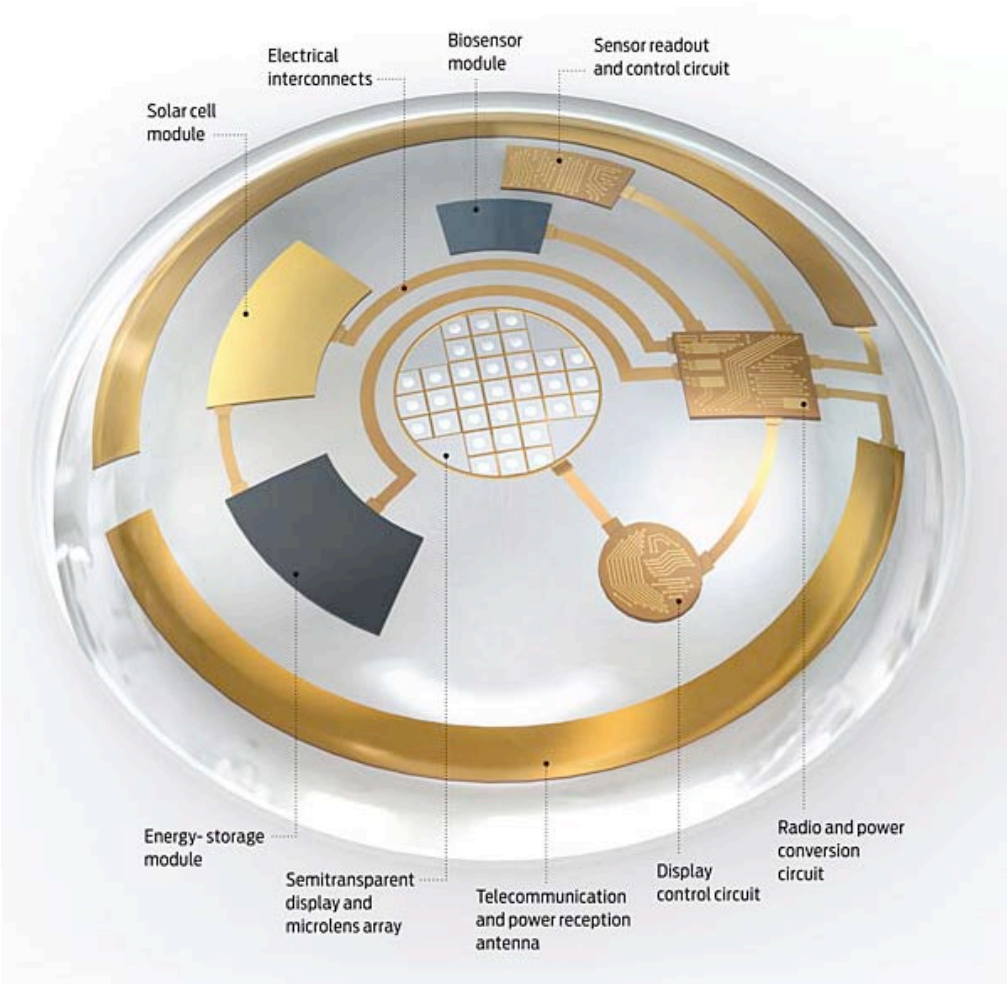
Optinen näyttö on taas selkeästi huonompi todellisuuden ja virtuaalisen informaation yhdistämisessä uskottavasti, koska virtuaalista informaatiota ei saada esitettyä niin, että se peittäisi kokonaan todellisen näkymä. Tällöin seurauksena voi olla haamukuvamainen vaikutelma, joka voi haitata informaation havaittavuutta. On myös tapauksia, joissa virtuaalinen tieto, esimerkiksi suunniteltavan rakennuksen 3D-malli, tulisi limittää todellisten objektien väliin. Tällaisen limityksen toteuttaminen on vielä tällä hetkellä vaikeaa optisilla näytöillä. Limityksen lisäämisestä optisiin näyttöihin on tehty tutkimusta, mutta käytännön sovelluksia ei ole tiettävästi vielä markkinoilla (Kiyokawa, Billinghurst, Campbell & Woods 2003).

Optisten näyttöjen toinen ongelma on niiden jokaiselle käyttäjälle erikseen tehtävä aikaa vievä kalibrointi. Kalibrointia tarvitaan, jotta virtuaalinen informaatio saataisiin kohdistettua tarkasti todelliseen näkymään. Käytännössä optiset näytöt täytyy kalibroida joka kerta, kun ne otetaan pois ja laitetaan takaisin päähän tai kun näytön etäisyys käyttäjän silmiin muuttuu.

Videonäytöt toisaalta eivät vaadi käytön alussa tehtävän kalibroinnin jälkeen kalibrointia, ja ne pystyvät esittämään virtuaalisen informaation yhdistettynä todelliseen informaation yhtenäisellä kirkkausasteella. Videonäytöt mahdollistavat myös virtuaalisten ja todellisten objektien limityksen riippuen siitä, mahdollistaako muu järjestelmä sen. Videonäytöt mahdollistavat myös erilaisten kameroiden, kuten yönäkö- tai lämpökameran, käytön todellisuuden kuvaukseen. Videonäyttöjen ongelma on niiden tarjoaman näkökentän kapeus, joka varsinkin työmaatehtävissä voi aiheuttaa onnettomuuksia, kun käyttäjän mahdollisuus havaita vaaroja heikkenee.

Tällä hetkellä molempien näyttötyyppien yhteisenä ongelmana on usein niiden suuri koko ja paino, mutta kehitys etenee nopeasti kohti pieniä ja kevyitä näyttöjä. Päässä

pidettävien näyttöjen ongelmana on myös niiden aiheuttama silmien väsyminen, joka johtuu kuvan esittämisestä liian lähellä silmiä. Ideaalitilanteessa näyttö olisi normaaleja silmälaseja (Kasai 2000) tai jopa pelkkiä piilolinssejä vastaava (Parviz 2008). Kuvassa 18 on konseptikuva piilolinssinäytöstä.



Kuva 18. Konseptikuva piilolinssinäytöstä (JustGetThere.us 2009).

On myös olemassa tekniikka nimeltä virtuaalinen verkkokalvonäyttö (engl. virtual retinal display) (Pryor, Furness & Viirre 1998). Tekniikka perustuu matalatehoiseen laseriin, jolla piirretään kuva suoraan käyttäjän verkkokalvolle. Tulevaisuudessa voi myöskin olla mahdollista hankkia silmään verkkokalvolle asennettava implantti, johon virtuaalinen informaatio voidaan välittää suoraan (Fink, You & Tarbell 2010).

Rakentamiseen liittyvissä työtehtävissä päässä pidettävät näytöt ovat erittäin hyödyllisiä koska ne, toisin kuin kädessä pidettävät näytöt, vapauttavat työntekijän kädet työtehtäviin.

Kädessä pidettävät näytöt

Kädessä pidettävä näyttö voi olla esimerkiksi kannettava tietokone tai matkapuhelin varustettuna kameralla, jolloin laitteen näytöllä esitetään kameran kautta kuvattu ympäristö täydennettynä lisätty todellisuus -informaatiolla. Kannettavien tietokoneiden heikkoutena on niiden kalleus, melko suuri koko ja lyhyt käyttöaika suuren virrankulutuksen vuoksi. Matkapuhelimien huono puoli on toistaiseksi tehoiltaan varsin vaatimaton suoritin. Kämmentietokoneiden ja matkapuhelinten ominaisuuksien kehittyessä ja hintojen laskiessa nopeasti, tulevat ne erittäin houkutteleviksi vaihtoehdoiksi lisätyn todellisuuden näyttölaitteeksi. Lähes kaikissa uusissa matkapuhelimissa on kamera sekä muita lisätyn todellisuuden mahdollistavia teknologioita, kuten kompassi ja GPS.

Saattaa vaikuttaa siltä, että matkapuhelinten pienet näytöt olisivat huonoja lisätty todellisuus –informaation esittämiseen. Hwangin ja kumppaneiden 2006 tekemässä tutkimuksessa todetaan, että käyttäjän saadessa liikuttaa ruutua vapaasti luo se uppoutumisen elämyksen, joka on verrattavissa näkymään monta kertaa suuremmalla näytöllä. Tutkimuksessa vertailtiin paikallaan olevaa 42” kokoista plasmaruutua vapaasti liikuteltavan kannettavan laitteen 6” ruutuun. Käyttäjät kokivat tässä tapauksessa uppoutumisen elämyksen yhtä suureksi. Näin voidaan olettaa, että lisätyn todellisuuden elämys katsottuna matkapuhelimen ruudulta voi olla yhtä vaikuttava kuin isolta ruudulta koettuna. (Hwang, Jung & Kim 2006, 356.)

Tekemissäni haastatteluista (2010) kävi ilmi usko matkapuhelimien avulla toteutetun lisätyn todellisuuden lisääntymiseen. Matkapuhelimien eduksi on luettava myös niiden saavuttama sosiaalinen hyväksyntä laajemman kuluttajakunnan keskuudessa. Sosiaalinen hyväksyntä on yksi suurista haasteista lisätyn todellisuuden teknologian kehityksessä (Nilsson & Johansson 2008). Käyttäjät eivät esimerkiksi pidä päässä pidettävää näyttöä tällä hetkellä kovin kiinnostavana laitteena, vaikka sen hyödyt, kuten laajempi näkökenttä, olisivatkin selvät verrattuna vaikkapa matkapuhelimeen.

Suomi tunnetaan maailmalla matkapuhelinteknologian edelläkävijämaana, ja siksi on lähes itsestään selvää, että Suomessa tutkitaan tämän teknologian hyödyntämistä lisätyn todellisuuden toteutuksessa. Merkittävimpiä tällaisia tutkimuksia ovat Nokia, MARA sekä VTT:n lisätty todellisuus -työryhmän tutkimukset (MARA 2010; VTT 2010). Kuvassa 19 on Nokian MARA järjestelmän prototyypin ruutukaappauksia.

Kuva 19. Nokian MARA-prototyypin ruutukaappauksia (MARA 2010).

Projektionäytöt

Tänä päivänä videoprojektori ei ole enää keskikokoista matkapuhelinta suurempi, ja tämän vuoksi kiinnostus kannettavia videoprojektoreja kohtaan lisätyn todellisuuden näyttölaitteena on lisääntynyt. Massachusetts Institute of Technologyssa on kehitetty SixthSense–järjestelmä, joka hyödyntää kannettavaa projektoria virtuaalisen informaation heijastamiseen mille pinnalle tahansa, esimerkiksi sanomalehden pinnalle kuvan 20 mukaisesti (SixthSense 2010).

Kuva 20. SixthSense–järjestelmä (SixthSense 2010).

Projektoreita on tutkittu aiemmin käytettäväksi esimerkiksi kuvan 21 tapaisissa lääketieteellisissä sovelluksissa, koska leikkaussalissa lisätty todellisuus olisi helpompi toteuttaa paikallaan olevalla projektorilla kuin tarkkaa kalibrointia ja reaaliaikaista seurantaa vaativalla päässä pidettävällä näytöllä (Tardif, Roy & Meunier 2003).

Kuva 21. Projektorilla ja kameralla toteutettu lisätty todellisuus -näkymä leikkaussalipotilaan pinnalle heijastettavaksi (Tardif et al. 2003).

2.2.2 Seuranta

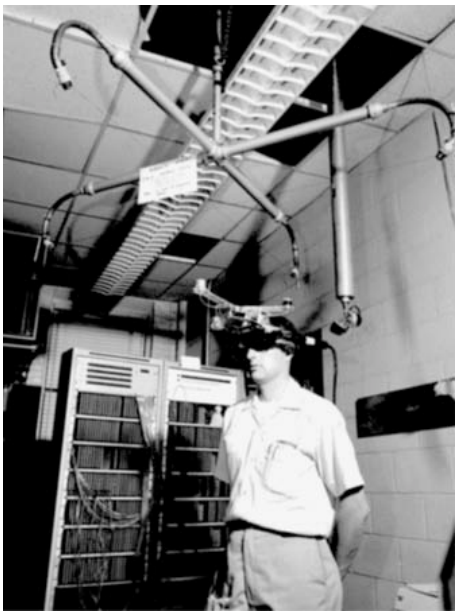
Yksi lisätyn todellisuuden yleistymistä rajoittava ongelma on todellisuuden ja virtuaalisen informaation kohdistaminen. Todellisen ja virtuaalisen informaation täytyy olla tarkasti toisiinsa kohdistettua, jotta informaation yhtenäisyyden illuusio ei hajoaisi. Myöskin useat sovellusalueet, kuten rakennusala, vaativat tarkkaa kohdistamista, jota ilman lisätyn todellisuuden sovelluksia ei voida ottaa käyttöön. Kuvasta 22 voidaan havaita, miltä näyttää tilanne, jossa kohdistus ei ole toiminut.

Kuva 22. Epäonnistunut kohdistus (Projection systems 2010).

Kohdistusongelman ratkaisuun voidaan käyttää useita seurantamenetelmiä (Rolland, Baillot & Goon 2001). Useita menetelmiä vaaditaan, koska yksi menetelmä voi toimia hyvin jossain tilanteessa, mutta pettää täysin toisessa tilanteessa. Esimerkiksi GPS voi toimia hyvin ulkotiloissa, mutta sisätiloissa GPS menettää välttämättömän yhteyden satelliitteihin, jolloin seuranta ei enää onnistu. Usein käytetäänkin monen eri menetelmän, esimerkiksi GPS ja kiihtyvyysanturit, yhdistelmää, jotta varmistetaan nopein ja tarkin mahdollinen seuranta sekä kohdistus.

Mekaaninen seuranta

Mekaaninen seuranta perustuu käyttäjän ja kohteen fyysiseen yhteyteen, jolloin saadaan suoraan tarkat tiedot käyttäjän ja kohteen paikoista sekä kulmasta toisiinsa nähden. Esimerkkinä tästä toimii hyvin kuvassa 23 nähtävä Sutherlandin vuonna 1968 kehittämä päässä pidettävä näyttö, ”Damokleen miekka” (Sword of Damocles) (Sutherland 1968). Damokleen miekan näyttö oli kiinnitetty kattoon vaijereiden välityksellä. Näiden vaijereiden avulla pystyttiin mittaamaan käyttäjän pään sijainti ja kulma.



Kuva 23. Sutherlandin Damokleen miekka (Sutherland 1968).

Kiihtyvyysanturit

Kiihtyvyysanturi mittaa anturiin kohdistuvia lineaarisia voimia. Näistä voimista voidaan tulkita anturin kallistuma (engl. pitch) ja kiertymä (engl. roll). Kiihtyvyysantureita käytetään yhdessä muiden menetelmien kanssa, koska ne yksinään eivät pysty määrittämään sijainteja.

Gyroskoopit

Gyroskooppi mittaa siihen kohdistuvia pyörimisenergioita ja päättelee näiden perusteella gyroskoopin suhteellisen suuntiman. Kuten kiihtyvyysanturilla, ei gyroskoopillakaan voida mitata sijaintia, joten sitä on käytettävä yhdessä toisten menetelmien kanssa.

Ultraääni

Ultraäänilähettimiä ja –vastaanottimia voidaan käyttää mittaamaan äänen ”lentoaikaa”, ja tämän perusteella voidaan laskea lähettimen sijainti suhteessa vastaanottimen tiedettyyn sijaintiin. Ultraäänijärjestelmän etuja ovat sen pieni koko ja häiriöttömyys. Heikkouksista ensimmäinen on menetelmän riippuvuus vakiotasoisesta äänennopeudesta, jota ei pystytä määrittelemään kuin kontrolloiduissa olosuhteissa. Äänen nopeuteen vaikuttaa pääasiallisesti vallitseva lämpötila, mutta myös ilmanpaine, ilman kosteus sekä ilman pyörteisyys. Täten jos äänennopeus vaihtelee, vaihtelee myös menetelmän tarkkuus. Muita ultraäänen ongelmia ovat

energiahävikistä johtuva melko lyhyt kantomatka, ultraäänitaajuuksilla oleva taustakohina sekä järjestelmän hidas päivitysnopeus.

Magneettikentät

Passiivista magneettikenttää hyödyntävistä menetelmistä tunnetuin on kompassi, jolla saadaan selville kompassin suunta verrattuna maapallon magneettiseen pohjoiseen. Tätä tietoa voidaan hyödyntää yhdessä muiden menetelmien kanssa käyttäjän suunnan selvittämiseen. Aktiivisista magneettikenttää hyödyntävät menetelmät käyttävät paikanpäälle sijoitettua lähetintä, joka luo paikallisen magneettikentän. Tämän menetelmän etuna on myös mahdollisuus määrittää anturin sijainti suunnan lisäksi.

GPS (Global Positioning System)

Autonavigaattoreista kaikkien tuntemaa GPS–järjestelmää voidaan hyödyntää käyttäjän sijainnin määrittämiseen. Itsessään GPS–järjestelmän heikkoutena on sen verrattain suuri epätarkkuus, noin 1-2 m, mutta käyttämällä esimerkiksi RTK (Real-time Kinematic) –tekniikkaa voidaan GPS:n tarkkuutta parantaa jopa 1-2 senttimetriin (RTK, 2010).

Optinen seuranta

Optinen seuranta perustuu tietokoneeseen liitettyyn yhteen tai useampaan kameraan, joiden avulla järjestelmä voi hahmon tunnistusta hyväksi käyttäen tunnistaa näkymästä joko kuvassa 24 esitetyn kaltaisia seurantamerkkejä tai ympäristön erityispiirteitä.

Kuva 24. Seurantamerkki

Ympäristön tunnistus voi perustua joko piirteiden, mallien tai aihioiden tunnistamiseen. Tätä tietoa verrataan ennalta määriteltyyn 3D-malliin tai kuva-aihioon. Näistä saatujen tietojen perusteella pystytään päättelemään käyttäjän sijainti ja suunta suhteessa ympäristöön.

Yhdistelmäseuranta (Hybrid tracking)
Joihinkin lisätty todellisuus –sovelluksiin ei riitä pelkkä tietokonenäön tarjoama seurantainformaatio, joten on kehitetty yhdistelmäkeinoja, jotka liittävät yhteen useita havaintoteknologioita. Esimerkiksi Azuma kumppaneineen ehdotti ulkoilmaan soveltuvaan lisätty todellisuus –järjestelmään seurantaa, joka perustuisi GPS-järjestelmään, kiihtyvyysantureihin sekä tietokonenäköön (Azuma 1998).

Sisätiloissa taas GPS-signaali todennäköisesti korvattaisiin esimerkiksi mallin tunnistuksella. Varsinkin rakentamiseen liittyvissä tehtävissä mallin tunnistus –menetelmä olisi hyvin käyttökelpoinen, kun rakennuksista tehdään kuitenkin yleisesti 3D-mallit ennen rakentamista.

2.2.3 Visualisointi

Jotta virtuaalinen informaatio saataisiin upotettua uskottavasti todelliseen näkymään, täytyy informaatio visualisoida mahdollisimman tarkasti noudattaen todellisuuden ominaisuuksia, kuten valoja, varjoja, objektien limitystä, eli toisin sanoen fotorealistisesti. Reaaliaikaisesti tuotettu todenmukainen virtuaalinen informaatio vaatii erittäin paljon laskentatehoja sitä tuottavalta järjestelmältä. Verrattain vähätehoisissa matkapuhelimissa täysin todenmukainen näkymä on vielä haave, mutta VTT on tehnyt tutkimusta todellisen valaistuksen ja varjojen sovittamisesta virtuaaliseen objektiin varsin onnistuneesti. Kuvassa 25 virtuaalinen koira-hahmo on yhdistetty todelliseen näkymään ja kohdistettu lattialla olevaan seurantamerkkiin. Koiran visualisoinnissa on otettu huomioon todellisuudessa vallitseva valaistus sekä videolähteen kohina, jolloin se sulautuu lähes huomaamattomasti todelliseen näkymään. (Aittala 2010.)

Kuva 25. (Aittala 2010, 671).

2.2.4 Interaktio

Jotta käyttöliittymät olisivat intuitiivisia ja helppokäyttöisiä, tulee myös käyttäjän interaktioon virtuaalisen tiedon kanssa kehittää mahdollistavaa teknologiaa. Yksinkertaisimmillaan interaktio toteutetaan tietokoneen näppäimistön ja hiiren avulla, mutta tämä ei ole helppokäyttöisin interaktiomalli käytettäessä järjestelmää, jota ei välttämättä käytetä pöydän ääressä. Käytettäessä kämmenessä pidettävää näyttöä voidaan hyödyntää esimerkiksi kuvan 26 mukaisesti kosketusnäyttöä.

Kuva 26. Lisättyä todellisuutta hyödyntävä Rock 'Em Sock 'Em Robots –peli (Pocket-Lint 2010).

Ihminen on aikojen alusta lähtien viestinyt luontevasti käsillään, ja tämän vuoksi käsien liikkeitä ja eleitä totteleva käyttöliittymä olisi erinomainen tapa järjestelmien hallintaan. Useita tämän kaltaisia järjestelmiä on kehitetty jo pitkän aikaa ja muutamat niistä ovat varsin pitkälle kehittyneitä.

MIT:n SixthSense-järjestelmässä interaktio on toteutettu erivärisillä sormiin asetettavilla seurantamerkeillä. Näiden avulla järjestelmä tunnistaa kameran kuvasta, missä mikäkin merkitsevä sormi sijaitsee, ja tekee päätökset interaktiosta sen perusteella. Kuvassa 27 käyttäjä näppäilee käteensä heijastettua numeronäppäimistöä. (SixthSense 2010.)

Kuva 27. SixthSense–järjestelmä (SixthSense 2010).

Tinmith-järjestelmässä interaktioon käytetään käsineitä, joihin on yhdistetty seurantamerkit sekä käyttäjän sormien painallukset tunnistava laitteisto. Kuvassa 28 on Tinmith-järjestelmän käsineet. (Avery, Smith, Piekarski & Thomas 2010.)

Kuva 28. Tinmith-järjestelmän käsineet (Avery et al. 2010).

Ihminen on tottunut siihen, että kun hän koskee johonkin, hän saa siitä kosketusaistimuksen eli ns. haptisen palautteen. Virtuaalisten objektien koskettelusta voidaan myös saada haptinen palaute käyttämällä esimerkiksi käsineitä, jotka sisältävät laitteiston, joka antaa käyttäjälle lähes todenmukaisen kosketustuntemuksen. (Massie 1994).

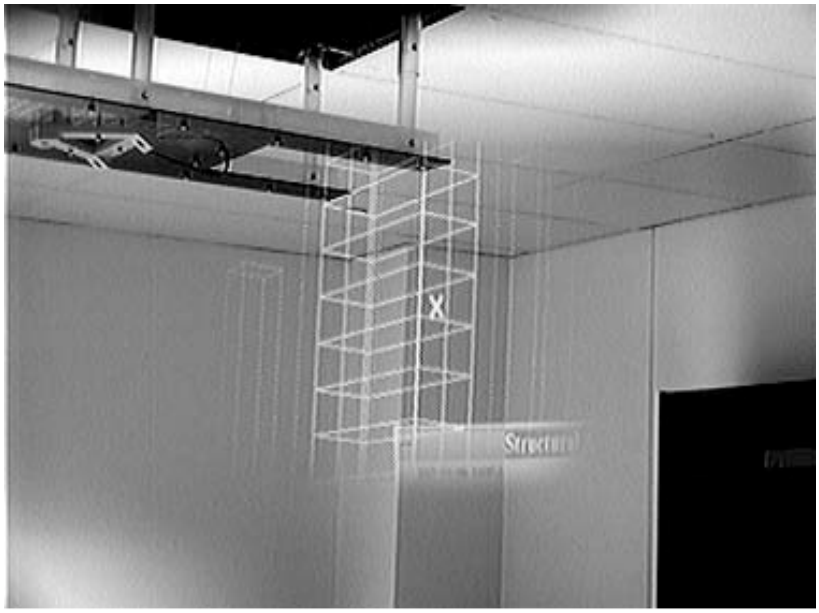
2.3 Ongelmat ja jatkotutkimus

Lisätyn todellisuuden mahdollistavan teknologian saralla tehdystä tutkimuksesta ja kehityksestä huolimatta ei teknologia ole vielä täydellinen. Ongelmia löytyy esimerkiksi näyttöteknologian aiheuttamasta silmien väsymisestä, seurannan hitaudesta ja epätarkkuudesta sekä visualisoinnin rajoittuneesta kyvystä tuottaa reaaliaikaista fotorealistista kuvaa.

Teknologian suurin ongelma saattaa kuitenkin olla sen ns. sosiaalinen hyväksyttävyys. Ihmiset eivät välttämättä ole esimerkiksi valmiita kantamaan päässään näyttölaitteita tai kameroita, jos ne ovat suuria ja epäkäytännöllisiä, tai näkemään suurta määrää erinäistä informaatiota ympärillään. Jatkotutkimusta tarvitaan paljon, mutta onneksi aktiivisia lisätyn todellisuuden tutkimusta suorittavia tahoja on melko paljon ympäri maailmaa. Tällaisia ovat esimerkiksi VTT Suomessa, Columbian yliopisto Yhdysvalloissa, Wuhanin yliopisto Kiinassa, Etelä-Australian yliopisto ja Lissabonin yliopisto Portugalissa.

3 LISÄTYN TODELLISUUDEN KÄYTTÖ TÄMÄN PÄIVÄN RAKENTAMISESSA

Tutkimusta lisätyn todellisuuden hyödyntämisestä rakennusten rakentamisessa on tutkittu ainakin vuodesta 1996 saakka, jolloin Webster kumppaneineen julkaisi tutkimustuloksensa. Tämä julkaisu sisälsi kuvauksia Columbian yliopiston tekemistä kokeellisista järjestelmistä kuten ”röntgennäöstä”, jossa lisätyn todellisuuden avulla pystyttiin näkemään valmiin seinän takana olevat pilarit, sekä kuvassa 29 näkyvästä järjestelmästä, jolla voitiin tarkastella pilarissa sijaitsevia raudoituksia ja suorittaa pilarille rakenteellinen analyysi. (Webster, Feiner, MacIntyre, Massie & Krueger 1996.)



Kuva 29. Palkin sisällä olevien raudoitusten visualisointi sekä palkin rakenteellinen analysointi (Webster et al. 1996).

Vaikka tutkimusta lisätyn todellisuuden käytöstä rakentamisessa on suoritettu jo 1990-luvulta lähtien, ei se ole tähän päivään mennessäkään levinnyt laboratorio-demoja ja kokeiluprojekteja, kuten VTT:n Digitalo (Woodward, Lahti, Rönkkö, Honkamaa, Hakkarainen, Jäppinen, Rainio, Siltanen, & Hyväkkä 2007), pidemmälle. Oletettavasti suurin syy tähän on mahdollistavan teknologian kyvyttömyys täyttää rakennustekniikan vaatimat tiukat perusedellytykset varsinkin seurannan tarkkuuden ja rekisteröinnin nopeuden osalta. Jotta lisättyä todellisuutta voitaisiin hyödyntää rakentamisessa, tulee sen olla saumattomasti ja vaivattomasti toimivaa sekä ulko- että sisätiloissa ilman esivalmisteluja, kuten seurantamerkkien asettelua. Teknologia kehittyy nopeasti, ja näin mahdollisuudet lisätyn todellisuuden laajemmalle hyödyntämiselle kasvavat lähitulevaisuudessa merkittävästi.

4 LISÄTYN TODELLISUUDEN KÄYTTÖ TULEVAISUUDEN RAKENTAMISESSA

Nykytilanteessa työntekijän täytyy etsiä työtehtävään liittyviä tietoja yleensä joko paperipiirroksesta, ohjekirjasta tai valokuvasta. Merkittävä osuus työntekijän ajasta kuluu paperipohjaisen tiedon hankintaan ja ymmärtämiseen. Lisätty todellisuus tarjoaa mahdollisuuden toimittaa tämä tieto työntekijälle nykyistä huomattavasti pienemmällä vaivalla, mikä lisää työntekijän työtehtävään käytettävissä olevaa aikaa. Kokemukset eri tehtävistä osoittavat ihmisten suosivan tietoa, joka on vaivattomasti saatavilla, ja käyttävän helpoiten ymmärrettävää tietoa päätöksien teossa (Yoon & Hammer 1985).

Useimmat työmaiden tehtävät vaativat työntekijän lyhytaikaista työmuistia. Monien tehtävien tarkka suorittaminen vaatii tärkeän tiedon lyhytaikaisessa muistissa säilyttämisen lisäksi kyseisen tiedon nopeaa käyttöä. Tämän vuoksi lyhytaikaisen muistin rajallinen kapasiteetti vaikuttaa tehtäviin, joiden onnistunut toteutus vaatii työntekijältä tiedon tarkkaa käyttöä ja säilytystä tietyn ajan. Kognitiivinen psykologia paljastaa, että säilytyksen tarkkuutta voidaan lisätä minimoimalla tiedon esittämisen ja siihen liittyvien toimien välissä tapahtuvat asiat. Lisätty todellisuus tarjoaa mahdollisuuden tämän välin pienentämiselle ja siten tehostaa työntekijän muistin käyttöä. Lisätty todellisuus voi myös saumattomasti liittää tarvittavan tiedon työntekijän todelliseen näkymään vapauttaen sen osan työntekijän lyhytaikaisesta muistista muuhun käyttöön. (Wang & Dunston 2005)

Yleisen muistiin liittyvän toiminnan lisäksi seuraavassa käsitellään joitain mahdollisia lisätyn todellisuuden sovellusalueita rakentamiseen liittyvissä tehtävissä. Tiedot perustuvat 2010 tehtyihin haastatteluihin, kirjallisuudesta löytyneisiin tutkimuksiin sekä kirjoittajan omiin näkemyksiin.

4.1 Visualisointi ja markkinointi

Koska lisätty todellisuus on pääasiallisesti visualisointitekniikka, on sen käyttäminen erilaisiin markkinointiin liittyviin ja muihin vastaaviin visualisointeihin luontevaa. Lisättyä todellisuutta on jo käytetty aiemmin mainitussa Digitalo–projektissa visualisoimaan taloa sille tarkoitetulla tontilla sekä virtuaalisen pienoismallin esittelyssä (Woodward et al. 2007). Tällainen käyttö lisääntyy tulevaisuudessa erittäin todennäköisesti, kun rakennuksia halutaan markkinoida sen tilaajalle ja mahdollisille käyttäjille. Esimerkiksi asuinkiinteistössä ostajaehdokkaat pystyvät kävelemään

esittelyhuoneistossa ja sisustamaan asunnon virtuaalisilla huonekaluilla ja pintamateriaaleilla. Myös täysin rakentamaton rakennus voidaan markkinoida sen tilaajalle esittelemällä rakennus kuvan 30 tyylisesti sen tulevalla tontilla lisätyn todellisuuden avulla.

Kuva 30. VTT Digitalo -visualisointi (Woodward et al. 2007, 6).

Lisätyn todellisuuden avulla toteutettu visualisointi voi myös nopeuttaa erilaisia kaavoitus- ja rakennuslupaprosesseja, koska suunnitelmat on mahdollista esittää konkreettisemmin ja luonnollisemmin kuin rakennuspiirustusten avulla lautakuntien jäsenille.

Vanhojen vahingoittuneiden tai mahdollisesti kokonaankin hävinneiden rakennusten visualisointi niiden historiallisessa ulkoasussaan pystytään toteuttamaan lisätyn todellisuuden avustuksella, ja näin tarjotaan esimerkiksi tutkijoille ja turisteille ainutlaatuinen mahdollisuus vierailla näissä rakennuksissa (Stricker, Daehne & Seibert 2001). Kuvassa 31 on ARCHEOGUIDE–järjestelmän avulla visualisoitu historiallinen rakennus Kreikassa.

Kuva 31. Historiallisen rakennuksen virtuaalinen malli (Archeoguide 2010).

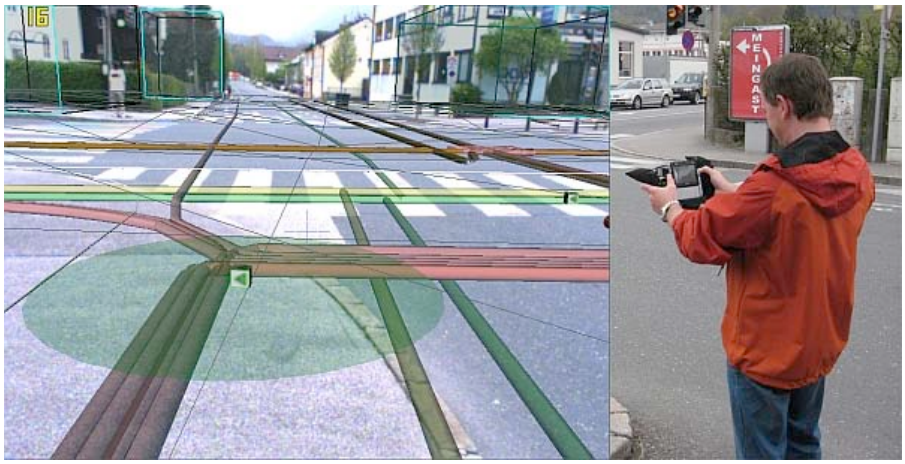
4.2 Suunnittelu

Lisätty todellisuus voi tulevaisuudessa vapauttaa suunnittelijat työpöydän takaa suunnittelemaan rakennuksia tontille, jonne rakennusta suunnitellaan. Suunnittelijan olisi mahdollista nostaa virtuaaliset seinät, ovet, ikkunat jne. paikoilleen kävellessään ympäri tonttia ja halutessaan tehdä suunnitelmat loppuun toimistossa. Muiden suunnittelijoiden olisi mahdollista osallistua suunnitteluun jopa toiselta puolelta maailmaa, koska he voisivat nähdä, mitä paikanpäällä oleva henkilö näkee, eli osallistua niin kutsuttuun kaukoyhteistyöhön (engl. remote collaboration).

Työmailla tapahtuvaan suunnitelmien muokkaukseen lisätty todellisuus voisi tuoda tehokkuutta esimerkiksi Tinmith–järjestelmän tyylisellä ratkaisulla, jossa virtuaalisia objekteja voidaan sijoitella vapaasti. Rakennustyömailla esimerkiksi putkien läpivientien kohtia voitaisiin vaivattomasti muokata ja järjestelmää käyttävät työmiehet näkisivät muutokset välittömästi omilla näytöillään huomiovärein korostettuna. (Avery et al. 2010; Aho & Suomi 2010.)

4.3 Rakennustoiminta

Rakennustoiminnan alkuvaiheessa lisättyä todellisuutta hyödyntävät sovellukset voivat avustaa maansiirtokoneiden kuljettajia työssään osoittamalla tarkkaan, mistä massaa täytyy poistaa tai mihin sitä täytyy lisätä. Edellä kuvatun kaltainen järjestelmä on käytössä esimerkiksi Earthworks X300 -kaivurissa (HemisphereGPS 2010). Lisätyn todellisuuden avulla voisi myös varoittaa työntekijöitä mahdollisista maanalaisista johdoista ja putkista Itävallassa kehitetyn VIVENTE-järjestelmän tyylisesti (Vivente 2010). Näiden kahden edellä mainitun sovelluksen yhdistäminen toisi maansiirtokoneiden kuljettajille mahdollisuuden nopeampaan työn suorittamiseen ja näin kokonaiskustannuksiin suuret säästöt. Kuvassa 32 on näkymä Vivente–järjestelmän avulla visualisoiduista maanalaisista putkistoista.



Kuva 32. Vivente–järjestelmä (Vivente 2010).

Rakentamisessa täytyy osien sijoittelun olla mahdollisimman tarkkaa, ja tätä avustamaan lisätty todellisuus mahdollistaa suuren kirjon sovelluksia betonivalujen raudoitusten sijoittelusta putkien läpivientien osoittamiseen. Shin ja Dunston tutkivat lisätyn todellisuuden soveltuvuutta 17 rakentamiseen liittyvään tehtävään vuonna 2008, ja he totesivat, että kahdeksassa tehtävässä saavutetaan huomattavaa etua lisätyn todellisuuden hyödyntämisestä. Heidän mukaansa esimerkiksi elementtien sijoittelussa ja sijoittelun tarkistuksessa lisätty todellisuus olisi hyödyllinen. (Shin & Dunston 2008.) Kuvassa 33 näkyy Muraron teknologian instituutissa Japanissa toteutettu betoniraudoitusten asettelun tarkistukseen tarkoitettu järjestelmä (Nobuyoshi & Zhantao 2007).

Kuva 33. Betoniterästen asettelun tarkastus (Nobuyoshi & Zhantao 2007, 7).

Päätöksiä tekevien henkilöiden ei välttämättä tarvitsisi olla aina työmaalla tekemässä tarkastuksia, koska he voisivat käyttää kaukoyhteyttä ja tarkastaa työmaan vaikka kotoaan.

Lisätyn todellisuuden avulla työmaiden turvallisuuteen saataisiin lisävarmuutta, koska työntekijöille voitaisiin ilmoittaa huomiovärein ja varoitusäänin esimerkiksi heidän olevan liian lähellä avointa aukkoa tai reunaa.

4.4 Korjausrakentaminen

Korjaus- ja muutosrakentamisessa lisättyä todellisuutta olisi luonteva käyttää muutettavan rakennuksen uuden käyttötarkoituksen esittelyyn (Rajala M., 2010). Lisätyn todellisuuden avulla voisi esimerkiksi esitellä Helsingin Suvilahden kaasukellon käyttötarkoituksen muuttamisen tapahtumapaikaksi lisäämällä tilaan mm. virtuaalisen lavan ja katsomot (HS, 2010).

Korjausrakentaminen hyötyisi myös VIVENTE–järjestelmän tyylisestä ”röntgen-katseesta”, jolloin työntekijöiden olisi mahdollista havaita mm. seinän sisässä olevia sähköjohtoja tai viemäriputkistoja.

4.5 Koulutus

Rakennustarkastajia voitaisiin kouluttaa lisätyn todellisuuden avulla lisäämällä harjoitusrakennukseen erilaisia virtuaalisia ongelmia, jotka oppilaiden tulisi havaita ja korjata. Ongelmien virtuaalisuus mahdollistaisi niiden helpon vaihtelun niin, ettei koulutuksessa jouduttaisi toistamaan samoja kaavoja.

Chulalongkornin yliopisto Thaimaassa sekä Osakan yliopisto Japanissa ovat tutkineet yhteistyössä lisätyn todellisuuden hyödyntämistä rakennustoiminnan turvallisuuskoulutuksessa. Niissä tehdyissä tutkimuksissa todetaan paikan päällä tapahtuvan, lisättyä todellisuutta hyödyntävän, turvallisuuskoulutuksen tehoavan henkilöstöön esimerkiksi toimistossa opetettua paremmin, koska he ymmärtävät kuinka turvallisuutta tulisi parantaa todellisessa kohteessa. (Limsupreeyarat, Yabuki & Tongthong 2010.)

5 PÄÄTELMÄT

Tutkimuksen perusteella voidaan päätellä lisätylle todellisuudelle löytyvän rakentamiseen liittyvissä tehtävissä useita sovellusalueita, ja tämän vuoksi on toivottavaa, että tutkimus sekä rahoitus lisätyn todellisuuden hyödyntämiseksi kasvaisivat. Tutkimukseen haastatellut (2010) rakennusalalla vaikuttavat yritykset myös näkevät lisätyn todellisuuden hyödyt ja uskovat sen tulevan laajemmin käyttöön noin viiden vuoden sisällä. Tämän hetkisen tiedon ja tuntemuksen perusteella tavoite on erittäin optimistinen ja vaatii kaikilta tutkimukseen ja kehitykseen osallistuvilta runsaasti ponnisteluja.

Mooren lain mukaan tietokoneiden suorituskyky kaksinkertaistuu noin kahden vuoden välein, joten jos verrataan lisätyn todellisuuden alkutaipaleen tietokoneita vuodelta 1996 tämän päivän järjestelmiin, ovat tämän hetkiset tietokoneet noin 128 kertaa tehokkaampia. Viiden vuoden päästä tämä tietokoneet ovat noin 700 kertaa tehokkaampia kuin vuoden 1996 tietokoneet. Tämän vuoksi voidaan odottaa useiden mahdollistavan teknologian ongelmien, kuten fotorealistisen visualisoinnin hitauden, ratkeavan tietokoneiden lisääntyvän suorituskyvyn ansiosta. (Wikipedia4 2010.) Muut teknologiat kehittyvät varmasti lähes yhtä nopeasti, jolloin myös esimerkiksi päässä pidettävien näyttöjen ongelmat vähenevät ja lopulta poistuvat.

Viihdeteollisuuden toimiessa ns. keihäänkärkenä lisätyn todellisuuden sovellusalueista saadaan ihmiset tottumaan ajatukseen lisääntyvästä informaatiosta sekä näkemään sen hyödyt, jolloin lisätty todellisuus saavuttaa laajemman sosiaalisen hyväksynnän asteen. Tämän jälkeen lisättyä todellisuutta on huomattavasti helpompi markkinoida myös muille sovellusalueille, kuten rakentamiseen.

Lisätyn todellisuuden hyödyntäminen rakentamiseen liittyvissä toimissa on selkeästi sidottu muilla aloilla tapahtuvaan kehitykseen, koska rakennusala ei ole välttämättä nopea ottamaan käyttöön uutta teknologiaa, jos sen etuja ei ole selkeästi jo aiemmin todistettu.

LÄHTEET

3dvis. 2010. 3D Visualization and Imaging Lab Research Statement. Saatavissa: http://3dvis.optics.arizona.edu/ [Viitattu 23.07.2010]

Aittala, M. 2010. Inverse lighting and photorealistic rendering for augmented reality. Visual Computer. Vol. 26 (2010) No: 6 - 8, 669 - 678

Archeoguide. 2010. Saatavilla: http://archeoguide.intranet.gr/project.htm [Viitattu 08.09.2010]

Avery, B., Smith, R. T., Piekarski, W. & Thomas, B. H. 2010. Designing Outdoor Mixed Reality Hardware Systems. The Engineering of Mixed Reality Systems. Lontoo: Springer-Verlag London Limited. s. 211-231

Azuma, R. 1997. A Survey of Augmented Reality. In Presence: Teleoperators and Virtual Environments 6, 4 (August 1997). s. 355-385

Azuma, R. 1998. Making augmented reality work outdoors requires hybrid tracking. IWAR ’98 s. 219-224, 1998.

Azuma, R. 2001. Recent Advances in Augmented Reality. IEEE Computer Graphics and Applications 21(6): 34-47, 2001.

Botella, C., Bretón-López, J., Quero, S., Baños, R. & García-Palacios, A. 2010. Treating cockroach phobia with augmented reality. Behavior therapy, vol. 41. Syyskuu 2010.

Brooks, F. P. Jr. 1996. The Computer Scientist as Toolsmith II. CACM 39, 3 (March 1996), 61-68.

California State University. 2010. Kuva virtuaalilavasteista. Saatavissa http://www.csudh.edu/televisionarts/facilities-tvstudio.html#VirtualSet [Viitattu 23.7.2010]

Durlach, N. I. 1995. Virtual Reality: Scientific and Technological Challenges. National Academy Press. 1995.

Engadget1. 2010. Augmented reality on hand at museum in the Netherlands, threatens to make learning cool. Saatavilla: http://www.engadget.com/2009/04/13/augmented-reality-on-hand-at-museum-in-the-netherlands-threaten/ [Viitattu 5.8.2010]

Fink, W., You, CX. & Tarbell, MA. 2010. Microcomputer-based artificial vision support system for real-time image processing for camera-driven visual prostheses. J Biomed Opt. 2010 Jan-Feb;15(1):016013.

Göktoğan, A., H. & Sukkarieh, S. 2005. An Augmented Reality System for Multi-UAV Missions. Simtec T proceedings. Toukokuu 2005.

Heilig, M. 1962. Sensorama. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Sensorama [Viitattu 15.7.2010]

HemisphereGPS. 2010. Earthworks X300. Saatavilla: http://www.hemispheregps.com/Products/EarthworksProducts/EarthworksX300/tabid/502/Default.aspx [Viitattu 07.09.2010]

Henderson, S.J. 2010. Augmented Reality for Maintenance and Repair (ARMAR) Saatavissa: http://graphics.cs.columbia.edu/projects/armar/index.htm [Viitattu 5.8.2010]

HS. 2010. Suvilahden kaasukelloja kaavaillaan hyötykäyttöön. Helsingin Sanomat 3.9.2010. sivu A13.

Hwang, J. Jung, J., Kim, G.J. 2006. Hand-held Virtual Reality: A Feasibility Study. ACM VRST 2006

JustGetThere.us. 2009. Augmented Reality in a Contact Lens. Saatavissa: http://justgetthere.us/blog/archives/Augmented-Reality-in-a-Contact-Lens.html [Viitattu 23.7.2010]

Kasai, I. 2000. A Forgettable Near Eye Display. Proc. 4th Int'l Symp. Wearable Computers (ISWC 2000), IEEE CS Press. s. 115-118

Kiyokawa, K., Billinghurst, M., Campbell, B. & Woods, E. 2003. An Occlusion-Capable Optical See-through Head Mount Display for Supporting Co-located Collaboration. Proceedings of the Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR '03).

Layar. 2010. Layar Reality Browser. Saatavissa: http://www.layar.com/ [Viitattu 23.7.2010]

Limsupreeyarat, P., Yabuki, N. & Tongthong, T., 2010. Toward the improvement of safety planning for construction activities performed at high elevation by using augmented reality . In Computing in Civil and Building Engineering, Proceedings of the International Conference, Nottingham, UK, Nottingham University Press.

MARA. The Mobile Augmented Reality Applications project. Nokia Oy. Saatavissa: http://research.nokia.com/research/projects/mara [Viitattu 3.7.2010]

Marines. 2010. F-35 Lighting II Helmet Mounted Display System. Marines Magazine. 23.3.2010. Saatavissa: http://marinesmagazine.dodlive.mil/2010/03/23/f-35-lighting-ii-helmet-mounted-display-system/ [Viitattu 17.7.2010]

Massie, T. 1994. The PHANTOM Haptic Interface: A Device for Probing Virtual Objects. Proceedings of the ASME Winter Annual Meeting, Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, Chicago, IL, Nov. 1994.

Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A. & Kishino F. 1994. Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. SPIE Proceedings volume 2351: Telemanipulator and Telepresence Technologies (Boston, MA, 31.10 – 4.11.1994). s. 282-292

Nilsson, S. & Johansson, B. 2008. Acceptance of augmented reality instructions in a real work setting. Linköping University, Linköping, Sweden

Nobuyoshi, Y. & Zhantao, L. 2007. Cooperative Reinforcing Bar Arrangement and Checking by Using Augmented Reality. Muroran Institute of Technology, Japan.

Parviz, B. 2008. Contact lenses with circuits, lights a possible platform for superhuman vision. Saatavissa: http://uwnews.org/article.asp?Search=contact+lenses&articleid=39094 [Viitattu 5.7.2010]

Pocket-Lint. 2010. Hands-on: Augmented reality Rock 'Em Sock 'Em Robots. Saatavilla: http://www.pocket-lint.com/news/34062/augmented-reality-gaming-hands-on [Viitattu 25.08.2010]

Projection systems. 2010. Saatavilla: http://projectionsystems.files.wordpress.com/2009/11/battlefield-augmented-reality-system-01.jpg [Viitattu 23.9.2010]

Pryor,H.L, Furness, T.A. & Viirre, E. 1998. The Virtual Retinal Display: A New Display Technology Using Scanned Laser Light. Proc. 42nd Human Factors Ergonomics Soc., Santa Monica, California. s. 1570-1574

Rheinmetall Defense. 2005. Cutting edge bomb disposal technology from telerob. Saatavilla: http://www.rheinmetall-defence.com/index.php?lang=3&fid=3203 [Viitattu 5.8.2010]

Rolland, J.P., Baillot, Y., Goon, A.A. 2001. A Survey of Tracking Technology for Virtual Environments. Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality. s. 67-112

RTK. 2010. Real Time Kinematic. Saatavilla: http://en.wikipedia.org/wiki/Real_Time_Kinematic [Viitattu 04.09.2010]

Schnabel, M. 2007. From Virtuality to Reality and Back. Hong Kong: International Association of Societies of Design Research (IASDR07), 12-15 Dec 2007.

Shin, D. H., Dunston, P. S. 2008. Identification of application areas for Augmented Reality in industrial construction based on technology suitability. School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette, IN, USA

Siemens. 2005. Auto Electronics – Driver Assistance. Saatavissa: http://www.siemens.com/innovation/en/publikationen/publications_pof/pof_fall_2005/auto_electronics/driver_assistance.htm [Viitattu: 5.8.2010]

SixthSense, 2010. SixthSense – A Wearable Gestural Interface. Saatavilla: http://www.pranavmistry.com/projects/sixthsense/ [Viitattu: 25.08.2010]

Stricker, D., Daehne, P. & Seibert, F. 2001. Design and development issues for archeoguide: An augmented reality based cultural heritage on-site guide. International Conference on Augmented, Virtual Environments and Three Dimensional Imaging. Mykono Greece, IEEE 2001.

Sutherland, I. 1968. A Head-Mounted Three Dimensional Display Proc. Fall Joint Computer Conference 1968, Thompson Books, Washington, DC, 1968, 757–764.

Tardif, J.-P., Roy, S. & Meunier, J. 2003. Projector-Based Augmented Reality in Surgery without Calibration. University of Montréal, Qc, Canada.

Video Gamer Blogger. 2006. PS2 Review: EyeToy Kinetic exercise gaming with USB camera. Saatavissa: http://www.videogamesblogger.com/2006/02/05/ps2-review-eyetoy-kinetic-exercise-gaming-with-usb-camera.htm [Viitattu 23.7.2010]

VIVENTE. 2010. Handheld Augmented Reality For Technical Infrastructure. Saatavissa: http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/vidente/ [Viitattu 5.7.2010]

VTT, 2010. VTT Augmented Reality Team. Saatavilla: http://virtual.vtt.fi/virtual/proj2/multimedia/ [Viitattu 24.08.2010]

Wang, X. & Dunston. P.S. 2005. Compatibility issues in Augmented Reality systems for AEC: An experimental prototype study. Australia/USA. 23.5.2005

Webster, A., Feiner, S., MacIntyre, B., Massie, W., and T. Krueger. 1996. Augmented reality in architectural construction, inspection and renovation. Proc. ASCE Third Congress on Computing in Civil Engineering, Anaheim, CA, kesäkuu 17-19, 1996. s. 913-919.

Wikipedia1. 2010. Head-up Display. Saatavissa:http://en.wikipedia.org/wiki/Head-up_display [Viitattu 17.7.2010]

Wikipedia2. 2010. 1st & Ten (graphics system). Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/1st_%26_Ten_(graphics_system) [Viitattu 17.7.2010]

Wikipedia3. 2010. Future Force Warrior. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Future_Force_Warrior [Viitattu 23.7.2010]

Wikipedia4. 2010. Moore's law. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Moore's_law [Viitattu 25.7.2010]

Woodward, C., Lahti J., Rönkkö J., Honkamaa P., Hakkarainen M., Jäppinen J., Rainio K., Siltanen S., Hyväkkä J. 2007. "Virtual and augmented reality in the Digitalo building project", International Journal of Design Sciences and Technology, Vol 14, No 1 (2007), ISSN 1630 - 7267, s. 23-40.

Yoon, W.C. & Hammer, J.M. 1985. Aiding the operator during novel fault diagnosis. Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. Tucson, AZ, USA. s. 362-365

HAASTATTELUT

Aho, M. & Suomi, J. 25.5.2010. Espoo: Tekla Oy

Aspinen, J. 17.6.2010. Haastattelu. Espoo: BuilderCom Oy

Muukkonen, J. & Vainio H. 31.5.2010. Helsinki: Skanska Oy

Rajala, M. 25.5.2010. Helsinki: Tietoa Finland Oy