



# Kuution kokoaminen AR-teknologian avulla

Juha Sääsä, Tapio Salonen & Marja Liinasuo

ISBN 978-951-38-7148-2 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)  
ISSN 1459-7683 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2008

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 3, PL 1000, 02044 VTT  
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 3, PB 1000, 02044 VTT  
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 3, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland  
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 4374

Toimitus Anni Repo

Tekijät Sääski, Juha, Salonen, Tapio & Liinasuo, Marja		
Nimeke <b>Kuution kokoaminen AR-teknologian avulla</b>		
Tiivistelmä Ihmiset ovat joustavia ja kykenevät ratkaisemaan ongelmia, minkä vuoksi heidän merkityksensä kokoonpanotyössä on nykypäivänäkin kiistaton. Haasteena on toimittaa työntekijöille täsmätietoa kulloinkin käsillä olevasta kokoonpanotehtävästä. Tähän lisätty todellisuus (Augmented Reality, AR) -teknologia tarjoaa uusia mahdollisuuksia, jolloin visuaalisella informaatiolla voidaan lisätä suomalaisen kokoonpanotyön kilpailukykyä. AR-järjestelmissä yhdistetään digitaalisia tai muita virtuaalisia objekteja käyttäjän näkemään kuvaan todellisesta maailmasta. AR-teknologian kaupallinen hyödyntäminen on tullut mahdolliseksi viimeaikaisen pienikokoisen teknologian – mm. PDA-laitteiden, silmikkonäyttöjen ja kamerapuhelimien – ja siihen liittyvän prosessointikapasiteetin ja akkujen kestävyuden kasvun myötä.  Tässä osin vapaamuotoisessa kokeessa tarkasteltiin lisätyn todellisuuden käytettävyyttä kuution kokoamistehtävän ratkaisussa. Koe suoritettiin kansainvälisessä konferenssissa syyskuussa 2007 Ljubljanan yliopistossa. Otoksen suuruus oli 50 henkilöä. Kokeeseen osallistuneille annettiin tehtäväksi koota kolmiulotteinen palapeli (kuutio), jossa kuusi palikkaa tuli laittaa paikalleen oikeassa järjestyksessä ja asennossa. Kokoamisohjeet näytettiin AR-tekniikalla silmikkonäytölle. Osallistujilta mitattiin suoritus aika, minkä jälkeen he täyttivät kyselylomakkeen, jossa kysyttiin käyttäjäkokemuksesta ja mielipiteitä AR-teknologiasta. AR-teknologian avulla kuution kokoaminen oli nopeaa, ja mielipiteet AR-teknologiasta olivat myönteisiä. Teknologia vaatii vielä parantamista, ennen kuin sen voi ottaa tuotantoon, esim. parantamalla laitteen antamaa palautetta käyttäjälle.		
ISBN 978-951-38-7148-2 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		
Avainnimeke ja ISSN VTT Working Papers 1459-7683 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		Projektinumero 10755
Julkaisuaika Tammikuu 2008	Kieli suomi, engl. tiiv.	Sivuja 27 s. + liitt. 1 s.
Projektin nimi Augmented Assembly – Ohjaava kokoonpano	Toimeksiantaja(t) Tekes, Deltatron Oy, Kalmar Industries, Metso Oyj, Sandvik Oyj, Valtra Oyj, Wärtsilä Oyj ja VTT	
Avainsanat Augmented Reality, assembly, 3D puzzle, usability study	Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374	



Series title, number and  
report code of publication

VTT Working Papers 89  
VTT-WORK-89

Authors Sääski, Juha, Salonen, Tapio & Liinasuo, Marja		
Title <b>Assembling a cube with AR technology</b>		
Abstract Human workers are flexible and able to solve problems; hence, their significance in the assembly work is important even today. The challenge is to deliver assembly information to the workers about each task at a given time. Augmented Reality (AR) provides new opportunities to enhance assembly work in which visual information can be used to increase the competitive ability of the Finnish assemblage work. In all AR systems, digital or other types of virtual objects are connected to the view of the real world seen by the user. The rapid development of small-sized technology such as PDA devices, head-mounted displays and camera phones with enough processing capacity and long lasting batteries has enabled light-weight mobile AR systems.  In this study, the usability of augmented reality was tested by a simplified task that emulates assembly work. The study was performed at the University of Ljubljana in September 2007 during an international conference. The size of the sample was 50 persons. The task was to build up a 3D puzzle (a cube) with six pieces that were to put in correct order in the correct position. Instructions were projected on the head-mounted display, and the completion time was measured. Afterwards the users filled the questionnaire about user experience and opinions about augmented reality. As a result, assembly was rapid with AR and opinions about AR were positive. Technology requires, however, further development before it can be used in production. For instance, feedback mechanisms for user should be improved.		
ISBN 978-951-38-7148-2 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		
Series title and ISSN VTT Working Papers 1459-7683 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		Project number 10755
Date January 2008	Language Finnish, engl. abstr.	Pages 27 p. + app. 1 p.
Name of project Augmented Assembly	Commissioned by Tekes, Deltatron Oy, Kalmar Industries, Metso Oyj, Sandvik Oyj, Valtra Oyj, Wärtsilä Oyj and VTT	
Keywords Augmented Reality, assembly, 3D puzzle, usability study	Publisher VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374	

# Alkusanat

Tämä julkaisu on osa laajempaa yhteisrahoitteista Augmented Assembly – Ohjaava kokoonpano -projektia (Augasse). Rahoittajina projektissa ovat Tekes, VTT ja osallistujayritykset. Augasse-projektin tavoitteena on selvittää lisätyn todellisuuden hyödyntämistä kokoonpanotyössä. Tässä julkaisussa kuvataan Augasse-projektin tutkimus, jossa käytettiin melko vapaamuotoista koetta ja kyselylomaketta.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin lisätyn todellisuuden soveltamista yksinkertaisen kuution kokoamistehtävän ratkaisussa. Tutkimus suoritettiin syyskuussa 2007 Eurosim-konferenssissa (6th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation, Slovenia, Ljubljana). Tutkimus suoritettiin samalla kun konferenssiin osallistujat vierailivat posterisessiossa. Kenttätutkimuksen suorittivat Juha Sääski ja Tapio Salonen, ja tilastolliset analyysit teki Marja Liinasuo. Kaikki osallistuivat julkaisun kirjoittamiseen. Kiitämme professori Charles Woodwardia kommenteista tekstin luettavuuden parantamiseksi.

Tutkimuksen tarkoituksena on tuoda esiin yleisiä AR-teknologian haasteita ja tuottaa ideoita käynnissä olevan Augasse-projektin teollisuussovelluksiin.

Espoo, tammikuu 2008

Tekijät

# Sisällysluettelo

Alkusanat .....	5
1. Johdanto .....	7
1.1 AR-teknologia .....	8
1.2 Tutkimuksen tavoite .....	11
1.3 Tutkimuksia aihealueesta .....	11
2. Menetelmät .....	13
2.1 Osallistujat .....	13
2.2 Tutkimuksen eteneminen .....	14
3. Tulokset .....	17
3.1 Kuution kokoamistehtävän suoritus iän, sukupuolen ja aikaisemman kokemuksen mukaan .....	18
3.2 Kuution kokoamistehtävään liittyvät kysymykset .....	19
3.3 Yleiset kysymykset AR-teknologiasta .....	21
3.4 Avoimet kysymykset .....	22
4. Johtopäätökset .....	24
5. Yhteenveto .....	26
Lähdeluettelo .....	27
Liite A: Assembly study questionnaire	

# 1. Johdanto

Augmented Assembly – Ohjaava kokoonpano -projektin tutkimuksen tarkoituksena on tarkastella lisätty todellisuus -teknologian käytettävyyttä yksinkertaisen kuution kokoamistehtävän ratkaisussa. Tutkimuksen tarkoituksena on suhteuttaa tuloksia laajempaan aineistoon ja mahdollistaa lisätty todellisuus -teknologian erityispiirteiden tarkastelu. Julkaisun tarkoituksena on koota tiiviisti käyttäjäkokeemukset ja tuottaa ideoita käynnissä olevan projektin teollisuussovelluksiin.

Augmented Reality (AR) -teknologia on yksi virtuaalitodellisuuden (Virtual Reality, VR) sisarteknologia. Kaikissa AR-järjestelmissä, riippumatta siitä, käytetäänkö niissä silmikköä tai muuta näyttölaitetta, yhdistetään digitaalisia tai muita virtuaalisia objekteja käyttäjän näkemään kuvaan todellisesta maailmasta. AR-teknologian kehityksen voidaan katsoa syntyneen jo vuonna 1965, jolloin Ivan Sutherland käytti pään kiinnitettävää näyttölaitetta esitelläkseen 3D-grafiikkaa. Vasta 2000-luvulla AR-teknologian kaupallinen hyödyntäminen on tullut mahdolliseksi kevyiden, liikuteltavien laitteiden, kuten PDA:n, silmikoiden ja kamerapuhelimien, kehittymisen myötä, kun prosessointi-kapasiteetti on kasvanut ja paristojen käyttöaika pidentynyt.

Automaation jatkuvasta kehityksestä huolimatta ihmisten merkitys kokoonpanotyössä on nykypäivänäkin kiistaton. Ihmiset ovat joustavia ja kykenevät ratkaisemaan ongelmia. Nämä kyvyt ja taidot ovat erityisen tärkeitä kokoonpanotyössä. Yksittäistuotteiden ja räätälöitävien tuotteiden kokoonpanon lisääntyessä ihmisten tulisi kuitenkin kyetä omaksumaan entistä enemmän tietoa, minkä vuoksi muistinvarainen toiminta ja perinteinen ohjeistus eivät enää riitäkään. Haasteena on toimittaa kokoonpanijoille täsmätietoa kulloinkin käsillä olevasta kokoonpanotehtävästä. Haastetta kasvattavat myös tuotantolinjat, joissa työntekijät voivat joustavasti vaihtaa työtehtäviä. Näin samaa työtehtävää ei välttämättä tehdä kauan. Lisäksi tuotantolinjan yksittäiset kokoonpanot ovat erilaisia. Näihin haasteisiin lisätyn todellisuuden teknologia tarjoaa uusia mahdollisuuksia.

Yksittäistuotteiden ja räätälöitävien tuotteiden kokoonpano on hidasta, kallista ja altista virheille. AR-teknologian mahdollistamalla täsmällisellä visuaalisella informaatiolla voidaan lisätä suomalaisen kokoonpanotyön kilpailukykyä. Yksittäistuotteiden ja pien-sarjojen kokoonpanotyö tehostuu selvästi. Hyvin suunniteltu ja toteutettu AR-teknologia ohjaa kokoonpanotyötä tehokkaasti ja estää virheiden tekemistä. Näin työntekijöiden kokoonpanotyön opetteluajaksi supistuu oleellisesti. Yrityksen kilpailukyky ja joustavuus parantuvat merkittävästi ja ei-jalostavan työn osuus supistuu radikaalisti.

Demonstraatiotehtäviksi soveltuvat esim. puusta, muovista tai metallista tehdyt osat, jotka kootaan yhteen. Puusta tehdyistä paloista muodostuvan kuution kokoamistehtävä valittiin projektin demonstraatioksi, koska sen ratkaiseminen vaatii ongelmanratkaisua

ja loogista päättelykykyä ja sen ratkaisu vie kauan aikaa ilman ohjeita. Esimerkkimme kuution kokoamistehtävä on vaikeusasteeltaan keskitasoa, ja se muistuttaa kokoonpanotehtävää, jossa vaaditaan silmän ja käden yhteispeliä sovittaa osat paikalleen oikeassa järjestyksessä.

## 1.1 AR-teknologia

Termiä ”AR-teknologia” käytetään kuvaamaan järjestelmää, jossa digitaalista tietoa yhdistetään todelliseen ympäristöön. Toisin kuin virtuaalitodellisuus, AR ei korvaa todellista maailmaa vaan täydentää sitä lisäämällä siihen virtuaalista tietoa. Tällöin saadaan paras mahdollinen hyöty esim. 3D-malleista ja todellisesta kokoonpanoympäristöstä (Pyykkö 2007).

Ronald Azuman ym. (2001) mukaan AR-järjestelmän tulee täyttää kolme kriteeriä:

- AR-järjestelmä yhdistää oikean ja virtuaalisen maailman.
- AR-järjestelmän pitää toimia interaktiivisesti reaaliajassa.
- AR-järjestelmän pitää toimia kolmiulotteisessa maailmassa.

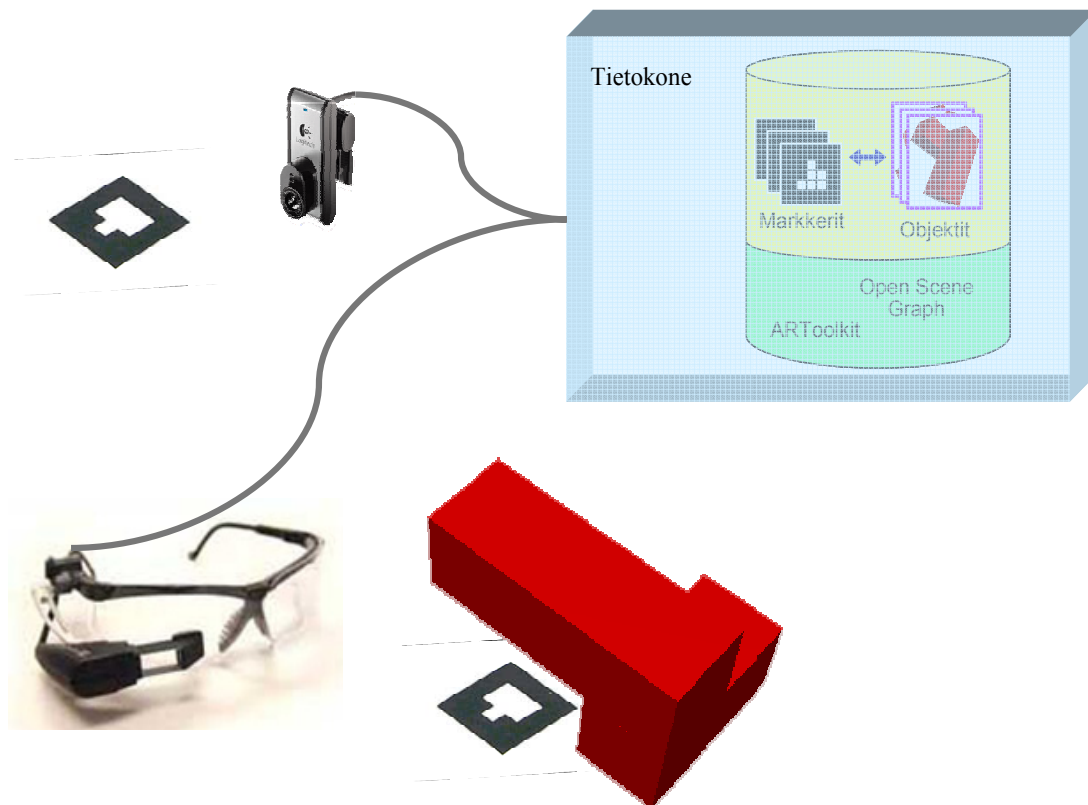
Nämä kriteerit tarkoittavat, että saadakseen tarvittavan tiedon osan lisäämisestä kokoonpanoon kokoonpanijan pitää nähdä todellinen ja virtuaalimaailma samanaikaisesti. AR-teknologia lisää AR-järjestelmän käyttäjälle todelliseen maailmaan digitaalista tietoa (Pyykkö 2007).

Lisäksi AR-järjestelmän tulee toimia interaktiivisesti reaaliajassa, joten kokoonpanijan liikuttaessa päätään AR-ohjelmiston tulee pystyä päivittämään näkymä vastaavasti. Tämä on erittäin tärkeää suoritettaessa kokoonpanoa, jossa tarkkuus on ehdottoman tärkeää. Suurissa kokoonpanoissa ei pieni viive haittaa itse kokoonpanoa, mutta se häiritsee silti kokoonpanijaa (Pyykkö 2007).

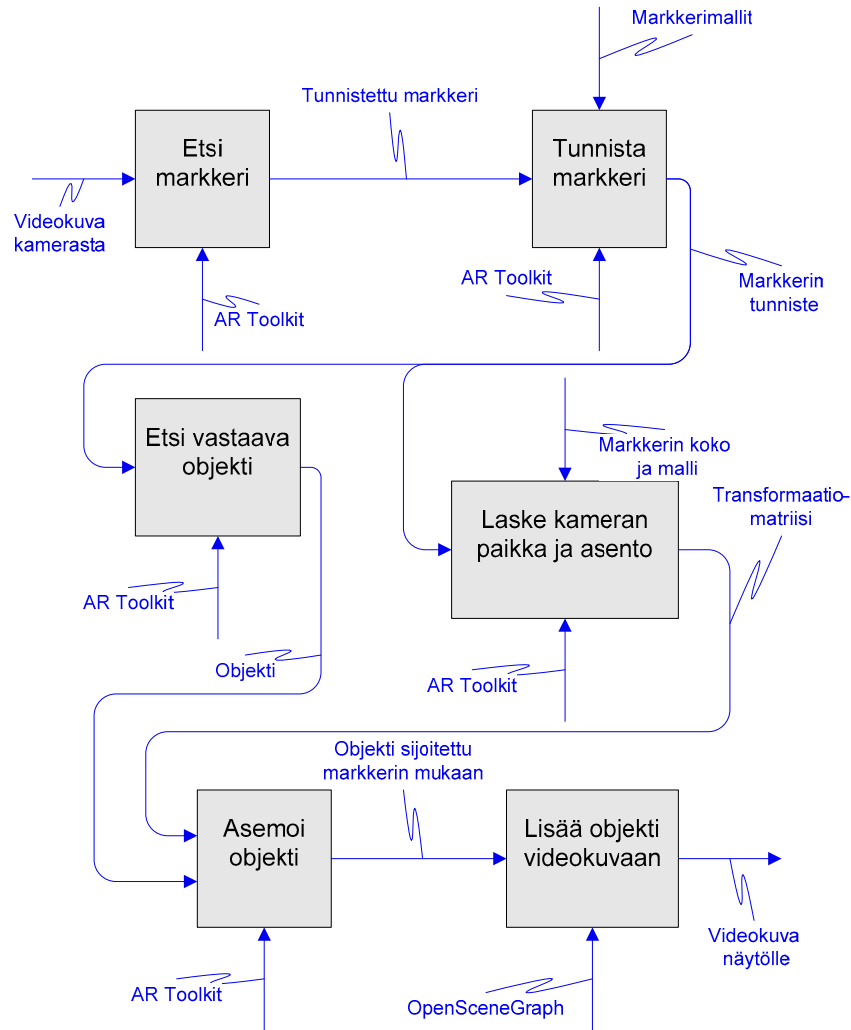
AR-järjestelmän pitää myös toimia kolmiulotteisessa maailmassa, jotta se pystyisi monimutkaiseen kanssakäymiseen todellisen ja virtuaalisen maailman kanssa. Tämä tarkoittaa sitä, että liikutettaessa kokoonpanoa virtuaalisen tiedon tulee liikkua kokoonpanon liikkeen mukaisesti mihin tahansa suuntaan kolmiulotteisessa avaruudessa. Lisäksi virtuaalisen tiedon tulee liikkua käyttäjän liikkeiden mukaisesti (Pyykkö 2007).



AR-teknologia toimii siten, että kamera lähettää videokuvaa oikeasta maailmasta tietokoneelle. Ohjelmisto etsii videokuvasta ns. markkereita. Markkeri on esimerkiksi musta neliö, jonka sisällä on jokin kuvio, joka yksiselitteisesti identifioi markkerin asennon. Markkerin muoto ja kuvio voivat olla mitä tahansa, kunhan ne on etukäteen kerrottu ohjelmalle. Jos markkeri löytyy videokuvasta, ohjelmisto laskee kameran paikan ja asennon markkeriin nähden. Kun kameran paikka ja asento on laskettu, tietokone lisää digitaalisen tiedon samasta kulmasta kuin kamera sijaitsee. Lopuksi käyttäjälle näytetään etäisyyden mukaan skaalattu digitaalinen tieto lisättynä videokuvaan. Ohjelmisto laskee jatkuvasti kameran paikkaa ja asentoa markkeriin nähden ja päivittää digitaalisen tiedon näytölle. Näin lisätty digitaalinen tieto pysyy mahdollisimman tarkasti oikeassa paikassa ja oikeanlaisesta kulmasta katsottuna. Myös virtuaalisen tiedon koko suhteutettuna ympäristöön pysyy oikeana, koska ohjelmisto laskee jatkuvasti kameran etäisyyttä markkerista (kuvat 1 ja 2).



*Kuva 1. AR-teknologian esimerkki. Kamera kuvaa markkeria, ja markkeriin liitetty objekti nähdään silmikkonäytöllä.*



Kuva 2. AR-tekniikan toimintakuvaus. ARToolkit ([www.artoolworks.com](http://www.artoolworks.com)) ja OpenSceneGraph ([www.openscenegraph.org](http://www.openscenegraph.org)) ovat aliohjelmakirjastoja, joita on käytetty sovellusta tehtäessä.

Tässä tutkimuksessa käytetty AR-ohjelma perustuu markkeripohjaiseen tunnistukseen. Markkerit (musta neliö ja sen sisällä oleva kuvio) ovat paikoittamiseen käytettyjä merkkejä, joilla saadaan reaali- ja virtuaalimaailmat yhtymään. AR-järjestelmän tulee kyetä seuraamaan kokoamistehtävän edistymistä, jotta se osaisi sijoittaa seuraavan kappaleen oikeaan paikkaan kokoonpanon jokaisessa vaiheessa. Tähän tehtävään käytetään useimmissa AR-sovelluksissa apuna markkereita.

Pelkästään markkeritunnistukseen perustuvista ohjelmistoista löytyy myös muutamia rajoituksia. Jos markkeria ei näy videokuvassa, ei myöskään siihen liittyvää tietoa voida lisätä kuvaan. Tämä saattaa rajoittaa kameran liikkuvuusaluetta. Esimerkiksi silloin, kun käyttäjä peittää osan markkerista käsillään, katoaa markkeriin liitetty digitaalinen tieto pois näkyvistä. Myös markkerien skaalaus ympäristöön saattaa aiheuttaa ongelmia. Mitä suurempi markkeri on, sitä kauempaa kamera pystyy sen havaitsemaan. Toisaalta mark-

keri ei saa olla liian iso juuri sen vuoksi, että se jää silloin helposti jonkin taakse piiloon osittain tai kokonaan. Markkerin tulee olla myös melko kohtisuorassa kameraan nähden. Mikäli kamera on liian viistossa markkeriin nähden, ohjelma ei pysty tunnistamaan markkerissa olevaa kuviota.

## 1.2 Tutkimuksen tavoite

Tämän Augasse-projektin osatutkimuksen tavoitteena oli selvittää käyttäjien kokemuksia AR-teknologian käytettävyydestä. Tutkimuksen tavoitteena oli myös tuottaa kehitysideoita. Keskeisimmät tulokset esitellään projektin johtoryhmän kokouksessa ja tässä julkaisussa.

## 1.3 Tutkimuksia aihealueesta

Pathomaree ja Charoenseang (2005) tutkivat, kuinka AR-teknologian avulla voidaan tehostaa oppimista. Tehtävänä käytettiin kaksi- ja kolmiulotteisen palapelin kokoamista, ja tavoitteena oli tarkastella, oppivatko käyttäjät helpommin AR-ohjeiden avulla vai ilman niitä. Molemmissa tehtävissä paloja oli kolme kappaletta.

Tutkimuksessa kaikille käyttäjille (yhteensä 20 opiskelijaa) näytettiin aluksi valmiiksi koottu tehtävä. Tämän jälkeen kymmentä opiskelijaa pyydettiin kokoamaan kaksiulotteinen tehtävä kahteen kertaan ja samoin kolmiulotteinen tehtävä kahteen kertaan, peräjälkeen, ilman minkäänlaista opastusta. Toiselle 10 opiskelijan ryhmälle annettiin ensimmäisellä kerralla ohjeet silmikkoon tehtävän kokoamista varten. Toisella kerralla myös tämä ryhmä suoritti kokoamistehtävät ilman minkäänlaisia ohjeita. Kaikista suorituksista mitattiin suorittamiseen kulunut aika ja kokoamiseen käytettyjen askelten (epäonnistuneiden ja onnistuneiden yritysten) määrä.

Tulosten perusteella käyttäjät suoriutuivat merkittävästi paremmin kokoamistehtävissä, kun he olivat opetelleet kokoamista AR-ohjeilla. Samoin virhesiirtojen määrä oli pienempi. Esimerkiksi kolmiulotteisen tehtävän tapauksessa ilman AR-ohjeita ensimmäisellä kerralla aikaa kului 3 minuuttia 34 sekuntia ja toisella kertaa 1 minuutti 21 sekuntia. AR-ohjeiden avulla opittuna ensimmäisellä kerralla aikaa kului 5,4 sekuntia ja toisella kertaa 4,2 sekuntia.

Tang kumppaneineen (2003) raportoivat kokeesta, jossa tutkittiin AR-teknologian avulla annettujen ohjeiden tehokkuutta kokoonpanotyössä. Kokeessa verrattiin neljää eri mediaa ohjeiden saamisessa: paperiohjeita, staattisia ohjeita perspektiivikuvilla tavalliselle näytölle, staattisia ohjeita perspektiivikuvilla silmikkönäytölle ja dynaamisia augmentoituja

ohjeita. Kokoonpanotehtävänä oli koota Duplo-palikoista tietty konstruktio. Palikoita oli 56 kappaletta, ja ne olivat erikokoisia ja erivärisiä. Kaikki palikat olivat yhdessä laatikossa, josta käyttäjä poimi aina kulloisenkin palikan. Otosjoukko koostui 75 yliopistop opiskelijasta, joiden keski-ikä oli 21 vuotta. Kokeesta mitattiin kokoonpanoaika eri medioilla ja Nasan TLX-menetelmän kuormittavuuskerroin (Hart 1987) kyselykaavakkeella heti kokoamistehtävän jälkeen. Kokoonpanotehtävään kului aikaa paperiohjeilla 14 minuuttia 24 sekuntia, staattisilla näyttöohjeilla 11 minuuttia 25 sekuntia, staattisilla silmikko-ohjeilla 11 minuuttia 8 sekuntia ja AR-ohjeilla 10 minuuttia 39 sekuntia. Ohjeiden mediatyypillä ei siis ollut selvästi merkittäviä eroja suoritusajassa, mutta virhesiirtojen määrä oli augmentoiduilla ohjeilla huomattavasti vähäisempi. Nasan TLX-kuormitusindeksiluvut olivat paperiohjeilla 13.3/20, staattisilla näyttöohjeilla 12.2/20, staattisilla silmikko-ohjeilla 11.0/20 ja AR-ohjeilla 10.0/20.

Suurimpana haasteena Tang ym. (2003) näkivät tekniikan kypsymättömyyden, erityisesti silmikkönäyttöjen osalta. Samoin he näkivät mahdollisia ongelmia käyttäjän uppoutumisessa AR-maailmaan, jolloin käyttäjät voivat olla huomaamatta, mitä muuta lähiympäristössä tapahtuu. Tehtaissa tämä saattaa olla turvallisuusriski.

Siltanen kumppaneineen (2007) tutkivat eri modalityettien tehokkuutta silmikon käyttöliittymänä ja vertasivat suoritusta myös paperiohjeiden avulla tapahtuvaan kokoamiseen. Tehtävä oli sama kuin tässäkin tutkimuksessa eli kuution kokoaminen. Osallistujat pitivät parhaimpana multimodaalista käyttöliittymää (ääni ja liikkeet), mutta koska koe oli melko epämuodollinen – osallistujia oli vain viisi – sen avulla saatiin lähinnä suuntaa antavia tuloksia. Muutama muu osallistuja kokosi kuution paperiohjeiden avulla; tässä tutkimuksessa kokoaminen paperiohjeiden avulla oli nopeampaa kuin AR-tekniikan avulla. Jotkut pitivät kuitenkin paperiohjeita sekavina, kun piti valita tietty palikka ja laittaa se tiettyyn orientaatioon, ongelma, jota ei esiintynyt AR-ohjeiden kanssa toimiessa. Osallistujat olivat sitä mieltä, että vaikka paperiohjeet olivat tässä tilanteessa hieman paremmat kuin AR-tekniikan avulla tuotetut ohjeet, AR-ohjeet voivat olla käyttökelpoiset käytännöllisemmässä kokoamistehtävässä (digiboksin asennus, huonekalujen kokoaminen jne.). Tutkimuksessa todettiin, että jatkokehityksessä tulisi parantaa käyttöliittymän toimintaa ja järjestelmän antamaa palautetta siitä, onko osa laitettu oikein paikalleen.

AR-tekniikka vaikuttaa siis lupaavalta kokoamistehtävien suorituksessa, mutta tekniikan kypsymättömyys aiheuttaa ilmeisesti helposti ongelmia, jotka on ratkaistava ennen tuotantoon siirtymistä. Tässä tutkimuksessa on tarkoituksena koota enemmän aineistoa, jonka avulla saataisiin tietoa ja ideoita siitä, mihin suuntaan AR-tekniikkaa kannattaisi kehittää VTT:llä.

## 2. Menetelmät

Tutkimus suoritettiin syyskuussa 2007 Eurosim-konferenssissa, joka pidettiin Ljubljanan yliopiston tiloissa (6th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation, Slovenia, University of Ljubljana, Faculty of Electrical Engineering). Perusjoukko koostui pääosin konferenssin osallistujista, mutta myös yliopiston opiskelijoista. Tutkimuksessa ei eroteltu, kuuluiko haastateltava konferenssiosallistujiin vai yliopiston opiskelijoihin. Eurosim 2007 -konferenssiin osallistuva joukko koostui 42 maasta, ja kontribuutioita (esitelmiä tai postereita) oli yhteensä 420. Suurimmat kansallisuudet olivat Slovenia, Saksa, Itävalta, Tšekki ja Ranska. Perusjoukkoa voidaan siis kuvaila akateemisiksi teknologia-asiantuntijoiksi, joille informaatioteknologian käyttö oli jo entuudestaan tuttua.

### 2.1 Osallistujat

Otantatutkimukseen valikoitui 55 henkilöä, jotka kiertelivät yliopiston aulassa ja näkivät demolaitteemme (kuva 3). Osallistujista hylättiin viisi, sillä kolmella heistä silmälasit estivät silmikön käyttämisen ja kahden henkilön tulokset hylättiin puutteellisen kyselylomakkeen vuoksi. Lopulliseen tutkimukseen valikoitui siis 50 henkilöä. Eurosim 2007 -konferenssissa esitettiin yhteensä 420 esitelmää ja posteria; olettaen, että jokaista kontribuutiota oli esittelemässä vain yksi henkilö, ja myös, että otoksessa oli joitain yliopiston opiskelijoita niin joka kymmenes perusjoukosta osallistui tutkimukseen.



*Kuva 3. Kokoamistehtävässä käytetty silmikko (MicroOptical SV-6 PC Viewer) ja kamera (Logitech QuickCam).*

Voidaan sanoa, että otos oli epäsuhteinen siltä osin, että haastattelututkimukseen osallistuivat vain ne, jotka kiinnostuivat nähdessään muiden henkilöiden suorittavan kuution kokoamistehtävän ratkaisua ja olivat samalla myös halukkaita kokeilemaan ”yleisön edessä” tehtävän ratkaisua.

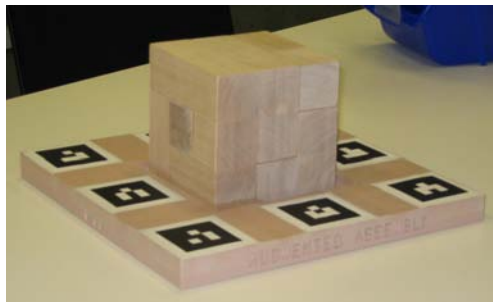
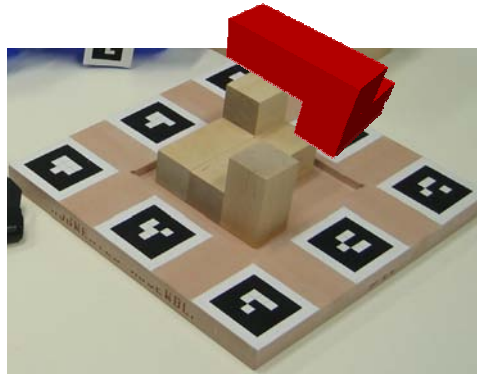
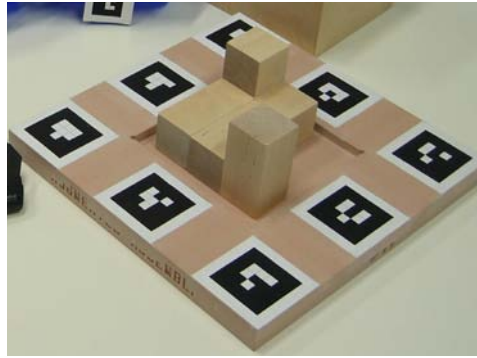
## 2.2 Tutkimuksen eteneminen

Kunkin mittauksen alussa kokoamistehtävän palikat olivat kukin omissa laatikoissaan ja alusta, jolle palikat tuli koota, oli tyhjä (kuva 4). Tutkimukseen osallistuvalla selostettiin ja näytettiin lyhyesti, kuinka silmikoista näkyvät ohjeet tehtävän ratkaisemiseen. Koska kaikki osallistujat olivat nähneet ainakin yhden suorituksen loppuvaiheen, kaikilla oli etukäteen näkemys myös siitä, miltä lopputuloksen (kuva 5) tulee näyttää. Osallistujille kerrottiin myös, että kokoamistehtävään kuluva aika mitataan.



*Kuva 4. Tutkimuksen alkutilanne. Palikat ovat sijoitettuina säilytyslaatikoihin, ja kokoamisalusta on tyhjä. Tässä tutkimuksessa palikoita ei kasattu kuvan oikeassa alalaidassa näkyvän laatikon sisään vaan suoraan alustalle ja säilytyslaatikot, joissa palikat aluksi sijaitsivat, olivat rivissä kokoamisalustan takana.*

Tämän jälkeen osallistuja laittoi silmikit päähänsä ja suoritti kasaustehtävän. Tehtävässä osallistuja otti laatikoista kunkin osan kerrallaan. Se, mikä osa otetaan, näkyi osallistujalle näyttöön lisätyllä punaisella nuolella, joka sijaitsi oikean laatikon kohdalla. Näyttöön visualisoitiin myös, missä asennossa ja mihin kohtaan osa piti laittaa. Kun osallistuja laittoi palikan oikein, hän kuittasi työvaiheen suoritetuksi ilmoittamalla, että seuraava vaihe voi alkaa (kuva 5). Käyttäjän ei tarvinnut muulla tavoin kuitata suoritustaan, koska testin järjestäjät huolehtivat AR-ohjelman käytöstä.



*Kuva 5. Kuution kokoamistehtävän vaiheita. Yläkuvassa näkyy käyttäjän näkemä kuva kahden palikan asentamisen jälkeen. Keskimmaisessä kuvassa käyttäjälle animoidaan seuraavan palikan sijainti ja sen oikea asento. Alimmaisessa kuvassa on valmiiksi koottu kuutio.*

Lopuksi osallistujille annettiin kyselylomake (liite A) täytettäväksi. Lomake koostui kolmesta strukturoidusta osiosta. Ensimmäisessä osiossa selvitettiin henkilön ikä ikäryhmittäisesti jaoteltuna, sukupuoli, mahdollinen aikaisempi kokemus AR-järjestelmistä ja mahdollinen aikaisempi kokemus samantyyppisestä kuution kokoamistehtävästä.

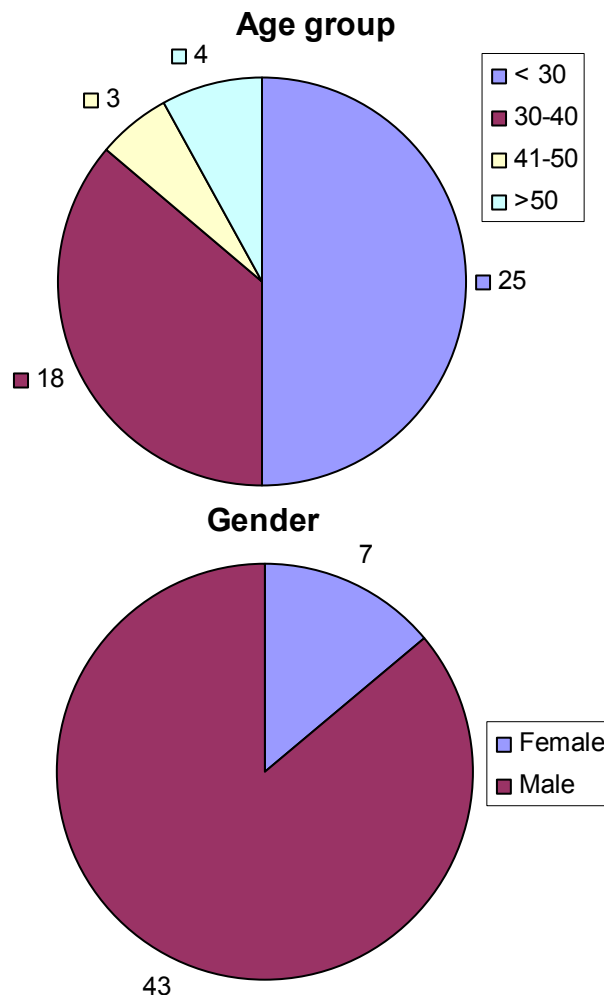
Toisessa osiossa tarkasteltiin kuution kokoamistehtävän ratkaisuun liittyviä tuntemuksia asteikolla 1–5, jossa 1 vastasi kokemusta ”vahvasti eri mieltä” ja 5 kokemusta ”vahvasti samaa mieltä”.

Kolmas osio koostui kysymyksistä yleisesti AR-tekniologiasta asteikolla 1–5, jossa 1 vastasi huonoa ja 5 erinomaista. Kyselykaavakkeen lopussa kysyttiin vapaamuotoisesti, minkä piirteen käyttäjät näkivät kaikkein parhaana AR-järjestelmässä ja samoin mikä asia vaatii eniten parantamista.



### 3. Tulokset

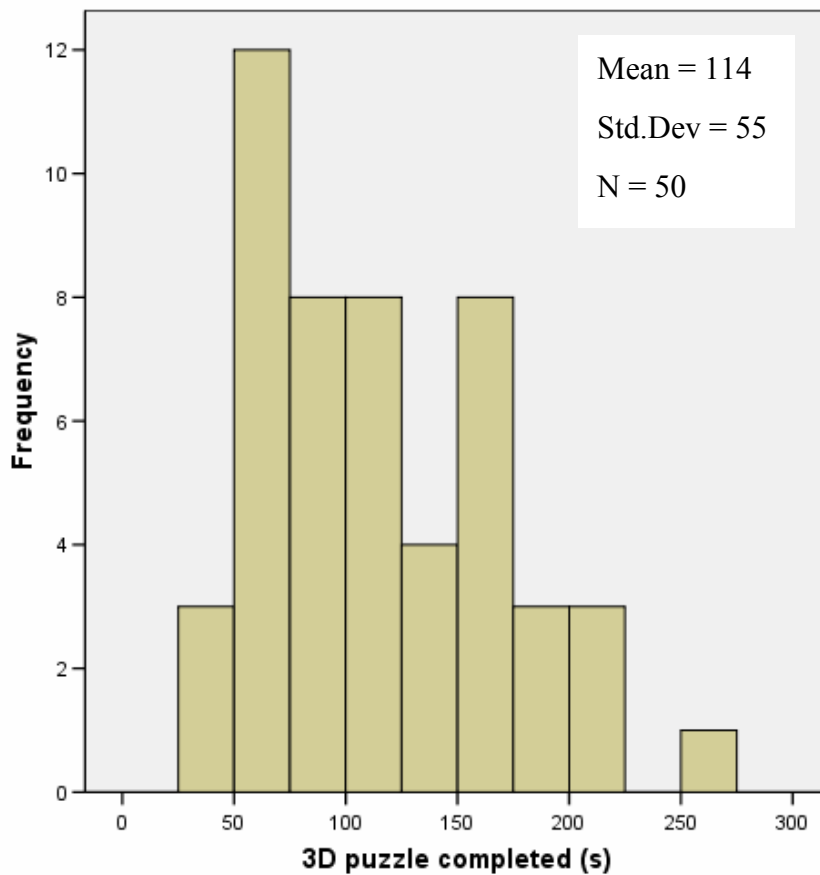
Tulokset pohjautuvat konferenssissa tehtyyn kokeeseen ja osallistujien kyselylomakkeessa antamiin vastauksiin. Käytettävän otoksen suuruus oli 50 henkilöä. Osallistujista suurin osa oli miehiä (86 % miehiä, 14 % naisia), ja ikäjakaumaltaan parhaiten edustettuna olivat alle 30-vuotiaat (25 henkilöä) (ks. ikä- ja sukupuolijakauma tarkemmin kuvasta 6). Naiset edustivat 14 %:a (7 henkilöä) otoksesta. Kaikki naiset kuuluivat nuorempiin ikäryhmiin eli joko alle 30-vuotiaisiin tai 30–40-vuotiaisiin. Tilanne huomioon ottaen osallistujilla oli melko vähäinen kokemus vastaavanlaisista järjestelmistä: vain kuusi henkilöä vastasi myöntävästi kysymykseen ”Experience in Augmented Reality Systems?” ja neljä kysymykseen ”Have you tried this type of 3D puzzle before?” (kaikki eri henkilöitä).



Kuva 6. Otoksen jakauma iän ja sukupuolen mukaan.

### 3.1 Kuution kokoamistehtävän suoritus iän, sukupuolen ja aikaisemman kokemuksen mukaan

Kuution kokoamistehtävän ratkaisuun kuluva aika kertoo, kuinka hyvin käyttäjät pystyivät hyödyntämään silmikkoon tulleita ohjeita. Kuution kokoamiseen kului keskimäärin aikaa 114 s keskihajonnan ollessa 55 s. Kuution kokoamistehtävän ratkaisuaajan keskihajonta on verrattain suuri, mikä kertoo, että otosjoukko oli suoritukseltaan melko heterogeeninen (ks. kuva 7).



Kuva 7. Kokoamistehtävän ratkaisuaajat ryhmiteltyinä 25 sekunnin tarkkuudella eri ryhmiin.

Keskimääräinen kokoamisnopeus sekunteina ikäjakauman sekä ikäjakauman ja sukupuolen mukaan ryhmiteltyinä on taulukossa 1.

Tässä tutkimuksessa ikäryhmät 41–50-vuotiaat ja yli 50-vuotiaat menestyivät kuution kokoamistehtävän suorituksessa hieman paremmin kuin muut. Ikäryhmien välillä ei kuitenkaan ollut tilastollista merkitsevyyttä (ANOVA,  $F=0.009$ ,  $p=0.925$ ). Samoin naiset menestyivät keskiarvoa paremmin tehtävän ratkaisussa, mutta tilastollisesti tarkasteltuna myöskään sukupuolten välillä ei ollut merkitsevää eroa (t-testi,  $F=0.236$ ,  $p=0.870$ ).

*Taulukko 1. Keskimääräinen suoritusnopeus sekunteina ikäryhmän sekä ikäryhmän ja sukupuolen mukaan luokiteltuna.*

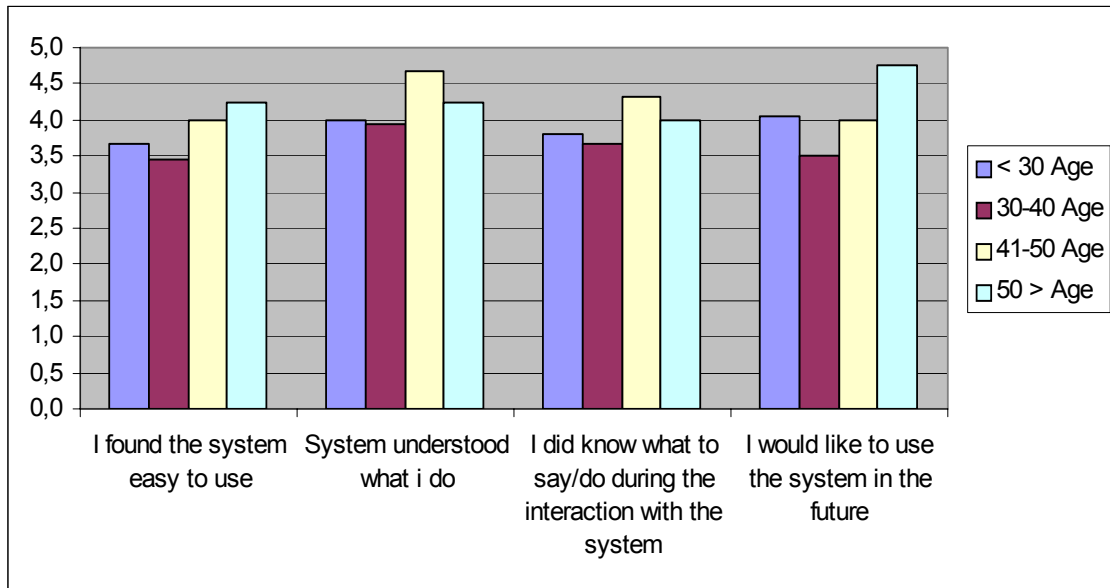
Age group	N	Mean performance (s)/age	Gender	N	Mean performance (s)/age & gender
<30 years	25	116	female	6	118,7
			male	19	115,32
30-40 years	18	116,33	female	2	73,5
			male	16	121,69
41-50 years	3	88,33	female	0	-
			male	3	88,33
>50 years	4	110,75	female	0	-
			male	4	110,75

Varianssianalyysi osoitti, että aikaisemmalla kokemuksella ei myöskään ollut vaikutusta tämän tehtävän suorittamiseen (ANOVA aikaisemmalle kokemukselle AR-teknologiasta:  $F=0.117$ ,  $p=0.734$ ; ANOVA aikaisemmalle kokemukselle 3D-kokoamistehtävästä:  $F=2.192$ ,  $p=0.145$ ).

### 3.2 Kuution kokoamistehtävään liittyvät kysymykset

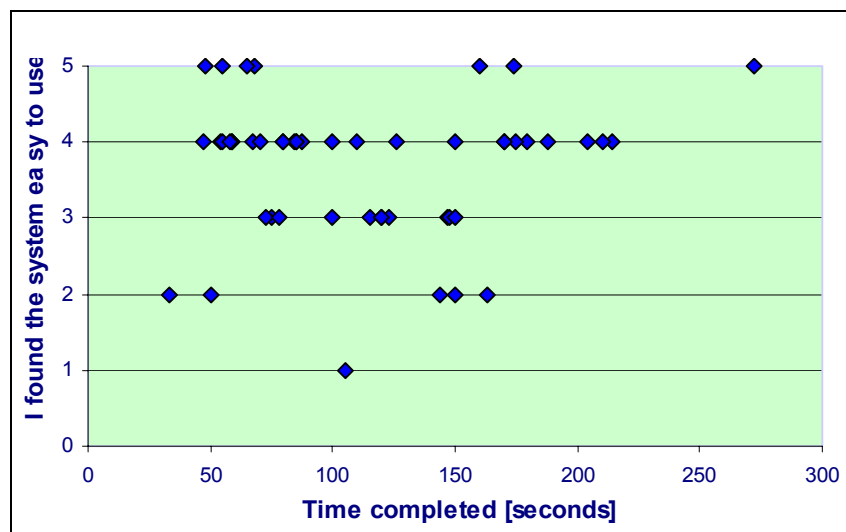
Osallistujat pitivät kokoamistehtävässä käytettyä AR-järjestelmää melko onnistuneena; keskiarvo kaikissa vastauksissa oli parempi kuin neutraali (kuva 8). Millään kokoamistehtävään liittyvällä kysymyksellä ei ollut kuitenkaan tilastollisesti merkitsevää yhteyttä palapelin suoritusnopeuteen liittyen.

Järjestelmä koettiin keskimäärin melko helppokäyttöiseksi ("I found the system easy to use", keskiarvo 3.66, kun 1 = vahvasti eri mieltä, 5 = vahvasti samaa mieltä). Järjestelmän koetulla helppokäyttöisyydellä ei ollut yhteyttä suoritusnopeuteen (ANOVA,  $F=0.042$ ,  $p=0.997$ ; kuva 9). Tämä kertoo, että osallistujat kokivat hyötyvänsä AR-teknologiasta riippumatta omasta suoritustasostaan. Olisikin toivottavaa, että teknologia hyödyttäisi mahdollisimman monenlaista käyttäjää.



Kuva 8. Kuution kokoamistehtävään liittyvien kysymysten keskiarvo ikäryhmittäin. Asteikko: 1 strongly disagree, 2 somewhat disagree, 3 neither agree nor disagree, 4 somewhat agree, 5 strongly agree.

Osallistujat kokivat, että järjestelmä ymmärsi hyvin, mitä he olivat tekemässä ("System understood what I do", keskiarvo 4.04, kun 1 = vahvasti eri mieltä, 5 = vahvasti samaa mieltä), ja tunsivat olonsa melko varmaksi toimiessaan yhteistyössä AR-teknologian kanssa ("I did know what to say/do during the interaction with the system", ka. 3.8, sama asteikko kuin edellä). Osallistujat olivat myös kiinnostuneita käyttämään tällaista järjestelmää jatkossa ("I would like to use the system in the future", ka. 3.9, asteikko kuten edellä mainittu).



Kuva 9. Suoritusnopeus suhteessa järjestelmän käytön koettuun helppouteen.

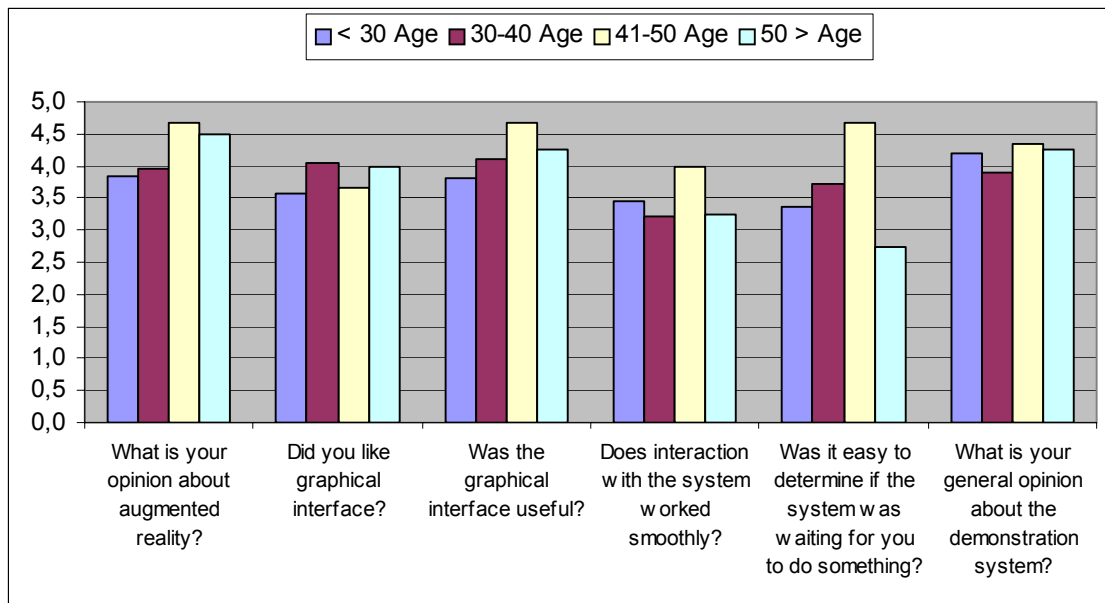
Mikään näistäkään tekijöistä ei kuitenkaan selittänyt suoritusnopeutta ("System understood what I do", ANOVA,  $F=0.759$ ,  $p=0.557$ ; "I did know what to say/do during the interaction with the system", ANOVA,  $F=0.786$ ,  $p=0.540$ ; "I would like to use the system in the future", ANOVA,  $F=0.603$ ,  $p=0.663$ ).

### 3.3 Yleiset kysymykset AR-teknologiasta

Osallistuneet suhtautuivat myönteisesti AR-teknologiaan ja pitivät tutkimuksessa käytettyä laitetta vähintäänkin kohtuullisena (kuva 10).

Osallistujien mielipide lisätystä todellisuudesta oli keskimäärin hyvä ("What is your opinion about augmented reality", keskiarvo 3.98, asteikko 1 = huono, 5 = erinomainen). He pitivät tutkimuksessa käytetyn laitteen graafisesta käyttöliittymästä ("Did you like graphical interface", ka. 3.78, asteikko kuten edellä) ja pitivät sitä hyödyllisenä ("Was the graphical interface useful", ka. 4, asteikko kuten edellä). He kokivat vuorovaikutuksen laitteen kanssa tapahtuneen kohtalaisesti ("Did interaction with the system work smoothly", ka. 3.38, asteikko kuten edellä).

Osallistujat kokivat myös, että oli kohtalaisen helppoa arvioida AR-järjestelmää siitä näkökulmasta, odottaako se käyttäjän tekevän jotain seuraavaksi vai ei ("Was it easy to determine if the system was waiting for you to do something", keskiarvo 3.52, asteikko 1 = huono, 5 = erinomainen). Näiden kokonaisuudessaan myönteisesti painottuvien näkemysten pohjalta ei olekaan yllätys, että kokonaisarvio käytetystä järjestelmästä oli hyvä ("What is your general opinion about the demonstration system", ka. 4.1, asteikko kuten edellä). Kaikkien ikäryhmien vastaukset noudattelivat pääsääntöisesti yleisiä trendejä (kuva 10).



Kuva 10. AR-teknoologiaan liittyvien kysymysten keskiarvo ikäryhmittäin. Asteikko: 1 bad, 2 somewhat bad, 3 neutral, 4 good, 5 excellent.

Myöskään nämä mielipiteet ja näkemykset eivät kuitenkaan liity tilastollisesti merkittävästi siihen, kuinka nopeasti palapeli koottiin ("What is your opinion about augmented reality", ANOVA,  $F=0.062$ ,  $p=0.980$ ; "Did you like graphical interface", ANOVA,  $F=0.211$ ,  $p=0.931$ ; "Was the graphical interface useful", ANOVA,  $F=0.973$ ,  $p=0.413$ ; "Did interaction with the system work smoothly", ANOVA,  $F=0.192$ ,  $p=0.942$ ; "Was it easy to determine if the system was waiting for you to do something", ANOVA,  $F=0.862$ ,  $p=0.494$ ; "What is your opinion about the demonstration system", ANOVA,  $F=1.231$ ,  $p=0.301$ ).

### 3.4 Avoimet kysymykset

Kyselyn lopussa tiedusteltiin, minkä piirteen käyttäjät näkivät kaikkein parhaana AR-järjestelmässä ja samoin mikä asia vaatii eniten parantamista. Nämä vastaukset antoivat ehkä selvimmän kuvan osallistujien näkemyksestä.

Parhaana puolena kuution kokoamistehtävässä nähtiin, että tehtävä voitiin suorittaa helposti ohjeiden avulla. Jotkut käyttäjät kokeilivat tehdä kuution kokoamistehtävää jälkikäteen uudelleen ilman ohjeita, mutta eivät onnistuneet siinä. Samoin kyseisen tyyppisen AR-järjestelmän nähtiin auttavan laadun varmistamisessa.

Eniten parantamista käyttäjät toivoivat silmikkonäyttöön. Kuvan kerrottiin olevan epäselvä ja vaikea katsoa. Samoin järjestelmä oli liian hidasa reagoimaan kameran liikkeisiin

ja aluslevyn pyörittämiseen. AR-järjestelmän tulisi toimia interaktiivisesti reaaliajassa, eli kun käyttäjä liikuttaa päätään, AR-ohjelmiston pitäisi pystyä päivittämään näkymä nopeasti. Näin käyttäjä näkisi aina oikeanlaisen kuvan eikä viiveellä näkyvää kuvaa, jossa digitaalisesti lisätty informaatio seuraa perässä. Tämä on erittäin tärkeää tarkkuutta vaativissa tehtävissä. Eräs syy viiveeseen on sovelluksessa käytetty Kalman filter.

Yleisenä kommenttina oli kuitenkin, että AR on lupaava teknologia. Se kiinnosti osallistujia selvästi.

## 4. Johtopäätökset

Tutkimuksessa tarkasteltiin, kuinka nopeasti kolmiulotteinen palapeli, kuution kokoaminen, onnistuu, kun ohjeet annetaan AR-tekniikan avulla. Ilman ohjeita tapahtuvan suorituksen tiedetään kestävän helposti jopa useita kymmeniä minutteja, mutta ohjeiden avulla suoritus oli nopeaa, keskimäärin noin kahden minuutin (keskiarvo 114 sekuntia) luokkaa. Tutkimuksessa käytetyn laitteen arvioitiin toimivan melko hyvin mutta ei erinomaisesti ja AR-tekniikkaan suhtauduttiin yleisesti ottaen myönteisesti.

Osallistujista valtaosa oli miehiä ja 40-vuotiaita tai nuorempia. Iän ja sukupuolen perusteella tuloksia ei voida vertailla keskenään, mikä näkyi myös tilastollisissa vertailuissa – merkitsevää eroa ikä- ja sukupuoliryhmien välille ei kertynyt. Niinpä esimerkiksi sukupuolierot avaruudellisen tilan hahmottamisessa (Gaulin 1992) eivät tulleet tässä tutkimuksessa esille.

Yleisesti ottaen vastanneet arvioivat kuution kokoamistehtävän helppokäyttöisyyttä ja interaktiivista keskimääräisesti melko hyväksi mutta ei erinomaiseksi. Yleisempään kyselyyn AR-tekniikasta käyttäjät vastasivat kysymyksiin ”What is your general opinion about the demonstration system?” ja ”What is your opinion about augmented reality?” hieman myönteisemmin. Käyttöliittymään liittyvät kysymykset ”Does interaction with the system work smoothly?” ja ”Was it easy to determine if the system was waiting for you to do something?” saivat huonommat arvot, mikä näkyi myös vapaamuotoisesti vastatuissa kysymyksissä kyselykaavakkeen lopussa.

Tämän perusteella jatkotutkimus voisi kohdistua käyttöliittymän, lähinnä silmikko ja kamera -yhdistelmän, korvaamiseen erityyppisellä ratkaisulla. Eräs vaihtoehto olisi kiinnittää kamera nivelmekanismiin, joka olisi helppo kohdistaa haluttuun asentoon, ja käyttää kiinteästi asennettua monitoria ohjeiden esittämiseen.

Se, kuinka kattavasti kuution kokoamisdemo mittaa kokoonpanotehtävää, riippuu kokoonpanotehtävän vaikeudesta. Yleisesti ottaen voidaan kuitenkin sanoa, että minkään osakokoonpanon vaikeusaste ei saisi olla kuution kokoamistehtävän luokkaa. Jos käyttäjä pystyy ratkaisemaan kuution kokoamisdemon tasoisesta tehtävästä AR-tekniikan avulla, hänen pitäisi pystyä suorittamaan mikä tahansa kokoonpanotehtävä.

Käyttöliittymään liittyviin kysymyksiin annettiin hieman huonommat arvot. Ilmeisesti suurimmat puutteet tässä tutkimuksessa käytetyssä järjestelmässä ovat kuvan epätarkuus ja käyttäjälle annetun palautteen puutteellisuus. Muutama osallistuja kommentoi kokeen jälkeen sanallisesti, että järjestelmä ei kykene tunnistamaan, jos käyttäjä asentaa palikan väärin. Tämä on selvä puute. Järjestelmään kannattaisikin lisätä hahmontunnistusalgoritmi, kuten CAMSHIFT (Bradski 1998) tai vastaava.



Tutkimukseen valikoitui henkilöitä, jotka kiertelivät yliopiston aulassa ja näkivät demolaitteemme. Vertailtaessa otantaa ja perusjoukkoa keskenään voidaan olettaa, että tulokset saattavat olla vinoutuneita, koska henkilöt valikoituivat kokeilemaan demoa oman kiinnostuksensa perusteella. Henkilö, joka on kiinnostunut tietystä aiheesta, omaa helposti tästä asiasta enemmän tietoa ja kokemusta kuin henkilö, jolle asia on yhdentekevä tai epämiellyttävä. Demonstraatio vastasi siis ”helposti hankittava näyte (convenience sample)” -tapausta, ja siten otantajoukko oli valikoitunut. Tällaista otantaa voidaan kuitenkin käyttää kehittämishankkeissa, joiden tulokset testataan myöhemmin laajemmassa tai täsmällisemmin valitussa otannassa. Perusjoukko voidaan määritellä myös siksi henkilöstöryhmäksi, joka voisi käyttää AR-teknologiaa omassa työssään, jolloin koehenkilöiksi voisi valita siinä tapauksessa kokoonpanotyötä tekeviä henkilöitä.

AR-teknologian vaikutusta kokoamissuoritukseen paperiohjeisiin verrattuna voisi tutkia siten, että osa käyttäjistä tekee kokoamistehtävän paperiohjeilla ja osa AR-teknologiaa käyttäen. Mahdollinen ero näkyisi suoritusajassa ja virheiden määrässä. Koejärjestelyjä voisi myös selventää siten, että koehenkilöitä pyydetäisiin kokeen alussa suorittamaan tehtävä mahdollisimman nopeasti ja virheettömästi. Näin mahdolliset tyylierot tasoittuisivat todellisen suoritusnopeuden ja suorituksen tarkkuuden päästessä vaikuttamaan enemmän lopputulokseen. Kun tässä kokeessa ei instruktiossa selvennetty, että suorituksessa tulisi pyrkiä nopeuteen, osa osallistujista saattoi pitää koetta vain mielenkiintoisena keinona päästä tutustumaan AR-teknologiaan, mikä saattoi johtaa rauhalliseen, kiireettömään suoritukseen, vaikka nopeampikin suoritus olisi voinut olla mahdollinen. Niinpä mahdolliset erot koehenkilöiden välillä esim. ikään liittyen jäivät piileviksi.

On myös mahdollista, että kokoamistehtävän onnistumiseen vaikuttavat esim. silmän ja käden yhteistyön saumattomuus ja kolmiulotteinen hahmotuskyky. Näitä muita tekijöitä voisi tutkia kokoamiskokeen yhteydessä, jolloin saadaan selville, mikä merkitys on näillä ominaisuuksilla käytettäessä AR-teknologiaa.

## 5. Yhteenveto

Tämä julkaisu on osa laajempaa Augmented Assembly – Ohjaava kokoonpano-projektia, jonka tavoitteena oli selvittää lisätyn todellisuuden hyödyntämistä kokoonpanotyössä. Tässä osatutkimuksessa tarkasteltiin lisätyn todellisuuden soveltamista yksinkertaisen kuution kokoamistehtävän ratkaisussa. Tutkimus suoritettiin syyskuussa 2007 Ljubljanassa (Slovenia).

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kuution kokoamistehtävän avulla AR-tekniikan mahdollisuuksia kokoonpanotyön parantamisessa ja tuottaa ideoita käynnissä olevan Augasse-projektin teollisuussovelluksiin.

Käytettävän otoksen suuruus oli 50 henkilöä. Tutkimukseen osallistuneille annettiin tehtäväksi koota kolmiulotteinen palapeli (kuutio), jossa palikat tulee laittaa paikalleen oikeassa järjestyksessä ja asennossa. Heille näytettiin kokoamisohjeet AR-tekniikalla silmikkonäytölle. Käyttäjiltä mitattiin suoritus aika, minkä jälkeen he täyttivät kyselylomakkeen, jossa kysyttiin käyttäjäkokemuksia. Tutkimuksen tulos oli, ettei iällä tai sukupuolella ollut merkitystä mitattaessa kuution kokoamiseen kuluvaan aikaan. Samoin aikaisempi kokemus AR-teknologiasta ei korreloinut suoritusajan kanssa. Yleisesti koekäyttöön osallistuneet pitivät ohjeiden tuomista adaptiivisesti silmikkonäyttöön mielenkiintoisena ja jopa hyödyllisenä asiana. Adaptiivinen tarkoittaa tässä tapauksessa, että virtuaaliobjektien asento, sijainti ja koko muuttuvat videokuvassa sen mukaan, mistä käyttäjä katsoo markkeria, tai toisaalta käyttäjä siirtää markkeria näkökentässä.

Suurimmat puutteet olivat silmikkonäytön epätarkkuus ja käyttäjän näkemän virtuaaliobjektin hidas päivittyminen videokuvassa. Näihin ominaisuuksiin kannattaa tutkimuksen mukaan jatkossa keskittyä.

## Lähdeluettelo

- Azuma, R., Bailiot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S. and MacIntyre, B. 2001. *Recent Advances in Augmented Reality*. IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 21, No. 6, pp. 34–47.
- Bradski, G. R. 1998. Computer Vision Face Tracking For Use in a Perceptual User Interface. Intel Technology Journal, Q2, p. 15.
- Gaulin, S. 1992. Evolution of sex differences in spatial ability. Yearbook of Physical Anthropology, Vol. 35, pp. 125–151.
- Hart, S. G. 1987. Background Description and Application of the NASA Task Load Index (TLX). Department of Defense Human Engineering Technical Advisory Group Workshop on Workload, 1987, Newport, RI.
- Pathomaree, N. and Charoenseang, S. 2005. Augmented Reality for Skill Transfer in Assembly Task. Proceedings of the 14th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2005). 13–15 August 2005, Nashville, Tennessee, USA. Pp. 500–504.
- Pyykkö, T. 2007. Lisätyn todellisuuden hyödyntäminen kokoonpanossa. Diplomityö. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, Konetekniikan koulutusohjelma. Tarkastettavana.
- Siltanen, S., Hakkarainen, M., Korkalo, O., Salonen, T., Sääsäki, J., Woodward, C., Kannetis, T., Perakakis, M. and Potamianos, A. 2007. Multimodal User Interface for Augmented Assembly. IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing, MMSP2007. 1–3 October 2007, Chania, Greece. 4 p.
- Tang, A., Owen, C., Biocca, F. and Mou, W. 2003. Comparative effectiveness of augmented reality in object assembly. Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems. Pp. 73–80.



# Liite A: Assembly study questionnaire

## General Information

Age group	< 30	30–40	41–50	> 50

Gender: (Female/Male)

Experience in Augmented Reality Systems: (Yes/No)

Have you tried this type of 3D puzzle before (Yes/No)

## 3D Puzzle demonstration

*Please answer the questions in a scale from 1 to 5:* 1 Strongly Disagree, 2 Somewhat Disagree, 3 Neither Agree nor Disagree, 4 Somewhat Agree, 5 Strongly Agree

Questions	Score
I found the system easy to use	
System understood what I do	
I did know what to say/do during the interaction with the system	
I would like to use the system in the future	

*3D Puzzle box completed in seconds:*

*General Questionnaire:*

*Please answer the questions in a scale from 1 to 5:*

*1 bad, 2 somewhat bad, 3 neutral, 4 good, 5 excellent*

Questions	Score
What is your opinion about augmented reality?	
Did you like graphical interface?	
Was the graphical interface useful?	
Did interaction with the system work smoothly?	
Was it easy to determine if the system was waiting for you to do something?	
What is your general opinion about the demonstration system?	

*Please answer the following questions:*

What is the most valuable feature of the system?

What feature of the system needs the most improvement?

Comments?

