



Tapio Salonen, Juha Säski, Charles Woodward,  
Mika Hakkarainen, Otto Korkalo & Kari Rainio

# Augmented Assembly – Ohjaava kokoonpano

Loppuraportti

ISBN 978-951-38-7477-3 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)  
ISSN 1459-7683 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2009

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 1000, 02044 VTT  
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 1000, 02044 VTT  
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P. O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland  
phone internat. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 4374

Toimitus Mirjami Pullinen



Tekijä(t) Tapio Salonen, Juha Sääski, Charles Woodward, Mika Hakkarainen, Otto Korkalo & Kari Rainio		
Nimeke <b>Augmented Assembly – Ohjaava kokoonpano</b>		
Tiivistelmä <p>Tuotteen suunnitteluvaiheessa luodaan suurelta osin se informaatio, jota tarvitaan kokoonpanon tehokkaaseen ohjaamiseen. Ongelmana on, että se ei välity kokoonpanotyöhön käyttökelpoisessa, visuaalisessa muodossa. Informaatio on usein tekstimuotoista ja yleispätevää koko tuoteperheelle. Lisäksi informaation haku on työlästä.</p> <p>Projektin tavoitteena oli tuoda lisätyn todellisuuden teknologia (<i>Augmented Reality</i>, AR) yksittäis- ja piensarjatuotteiden kokoonpanotyöhön ja kehittää suunnittelu- ja valmistusprosessia tukemaan kokoonpanotyötä paremmin. AR:n avulla tuotesuunnittelu ja kokoonpanotyön opastus voidaan sovittaa paremmin yhteen.</p> <p>Projektin tuloksena syntyi menetelmä AR:n käyttöönottoon tuotantoympäristössä. Se sisältää muun muassa lisätyn todellisuuden sisällyttämisen suunnittelu- ja valmistusprosessiin ja sitä kautta esimerkiksi tuotannonohjeistukseen.</p> <p>Yksittäistuotteiden ja räätälöitävien tuotteiden kokoonpano on hidasta, kallista ja altista virheille. AR-teknologian täsmällisellä visuaalisella informaatiolla suomalaisen ja eurooppalaisen kokoonpanotyön kilpailukykyä voidaan lisätä oleellisesti. Yksittäistuotteiden ja piensarjojen kokoonpanotyö tehostuu selvästi ja lähestyy sarjatuotteen kokoonpanoaikaa ja virheettömyyttä. AR ohjaa kokoonpanotyötä ja estää virheiden syntymistä. Myös työntekijöiden kokoonpanotyön opetteluajaksi supistuu oleellisesti.</p> <p>Tampereen teknillisessä yliopistossa suoritettiin keväällä 2008 opiskelijoille koe, jossa testattiin Valtra Oy Ab:n traktorin työhydrauliikkaventtiilin kokoonpanoa paperiohjeiden (koneenpiirustus, osaluettelo, kokoonpano-ohje) ja tietokoneella näytettävien AR-ohjeiden avulla. Kokoonpano nopeutui 15 % ja virheiden lukumäärä väheni 84 %.</p>		
ISBN 978-951-38-7477-3 (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 70160
Julkaisu-aika Joulukuu 2009	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 32 s. + liitt. 36 s.
Projektin nimi Augmented Assembly – Ohjaava kokoonpano	Toimeksiantaja(t) Tekes	
Avainsanat Augmented reality, AR, assembly work, augmented assembly, product data exchange	Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4520 Faksi 020 722 4374	



Series title, number and  
report code of publication

VTT Working Papers 138  
VTT-WORK-138

Author(s) Tapio Salonen, Juha Sääsäski, Charles Woodward, Mika Hakkarainen, Otto Korkalo & Kari Rainio		
Title <b>Augmented Assembly</b>		
Abstract <p>In the design phase of the product the necessary information will be created to guide the assembly work effectively. It does not flow to the assembly work in the useful and visual form. The information is often in text format and universally applicable, to the whole product family. Furthermore, the search of the information is labour-consuming.</p> <p>The objective of the project was to bring the Augmented Reality (AR) technology to the individual and the short series production in the assembly work and to develop the design – manufacturing process to support it. The result of the project was a method how AR will be implemented to the production environment. It contains the inclusion of the AR to the design-manufacturing process and that way to the enterprise resource planning. The production of the one-off product or the tailored product is slow, expensive and sensitive to the mistakes. The exact visual information created by the AR technology can be essentially used to increase the competitive of the Finnish and European assembly work. AR directs assembly work and prevents the mistakes.</p> <p>The experiment was performed at the Tampere University of Technology. The task was to assemble parts in correct order in the correct position and as soon as possible. Subjects performed two assembly tasks, one with paper instructions and another with AR instructions that were projected on one lens of a head-mounted display. The completion time of both tasks were measured. Afterwards the users filled the questionnaire about user experience and opinions about augmented reality. The completion times were compared with each other and questionnaire results in both experiments were evaluated. The assembly work accelerated 15% and the number of the mistakes decreased by 84%.</p>		
ISBN 978-951-38-7477-3 (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 70160
Date December 2009	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 32 p. + app. 36 p.
Name of project Augmented Assembly	Commissioned by	
Keywords Augmented reality, AR, assembly work, augmented assembly, product data exchange	Publisher VTT Technical Research Centre of Finland P. O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4520 Fax +358 20 722 4374	

## Alkusanat

Projekti "Augmented Assembly - Ohjaava kokoonpano (Augasse)" käynnistyi elokuussa 2006. Projekti kuului Tekesin SISU 2010 -teknologiaohjelmaan, ja se päättyi 31.1.2009. Projektin rahoittajina olivat Tekesin lisäksi Valtra Oy, Kalmar Industries Oy Ab, Sandvik Mining and Construction Oy, Wärtsilä Corporation, Wärtsilä Finland Oy, Metso Paper Oy, Deltatron Oy ja VTT. VTT:n tutkimuskumppanina oli Tampereen teknillinen yliopisto. Projektin vastuullisina johtajina toimivat teknologiapäälliköt Riikka Virkkunen ja Timo Määttä (VTT). Projektipäällikkönä toimi erikoistutkija Tapio Salonen (VTT). Lisäksi projektiin osallistuivat seuraavat henkilöt: Juha Sääski, Charles Woodward, Mika Hakkarainen, Otto Korkalo, Kari Rainio, Ilari Marstio, Paavo Voho ja Marja Liinasuo VTT:stä sekä Asko Riitahuhta, Tero Pyykkö, Johanna Mela, Jarkko Pakkanen, Leena Rapo ja Mikko Vanhatalo Tampereen teknillisestä yliopistosta.

Projektin johtoryhmään osallistuivat Valtra Oy:stä puheenjohtajana Esa Myllymäki ja varapuheenjohtajana Pekka Puranen sekä jäsenenä Leena Mattila (Metso Paper Oy), Juhani Lempiäinen (Deltatron Oy Ltd), Hannu Santahuhta (Kalmar Industries Oy Ab), Pasi Järvenpää (Sandvik Mining and Construction Oy), Tayfun Pisirici (Wärtsilä Corporation), Veli-Matti Huhtanen (Wärtsilä Finland Oy), Juha Suuronen (Tekes), Asko Riitahuhta (TTY) ja Riikka Virkkunen (VTT).

Espoossa, toukokuussa 2009

Tekijät

# Sisällysluettelo

Alkusanat.....	5
Symboliluettelo .....	7
1. Johdanto .....	9
2. Lisätty todellisuus.....	11
3. AR kokoonpanossa .....	15
3.1 Suunnittelu- ja valmistusprosessi.....	16
3.2 Integraatio yrityksen tietojärjestelmiin .....	18
4. Demonstraatiojärjestelmät .....	19
4.1 Kuution kokoaminen .....	19
4.2 Hydraulikkablokin kokoaminen.....	20
4.3 Augmentointi kamerakännykällä .....	21
4.4 Multimodaaliset kokeilut.....	25
5. Käyttäjäkokeet.....	26
6. Kansainvälinen ja kansallinen yhteistyö.....	27
6.1 The Human Interface Technology Laboratory New Zealand (HIT Lab NZ).....	27
6.2 University of Cambridge.....	28
6.3 ISMAR-konferenssit.....	28
6.4 Muut vierailut.....	29
7. Yhteenveto .....	30

## Liitteet

Liite A: Julkaisuluettelo

Liite B: VTT:n ohjelmien käyttöohje

Liite C: The Human Interface Technology Laboratory New Zealand (HIT Lab NZ)

Liite D: Researcher visit at the University of Cambridge

Liite E: Laitteistot

## Symboliluettelo

AR	Augmented Reality, lisätty todellisuus
ARToolkit	HITLab NZ -organisaation tekemä AR-ohjelmakirjasto
ALVAR	VTT:n tekemä AR-ohjelmakirjasto
CAD	Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu
HITLab NZ	The Human Interface Technology Laboratory New Zealand
HMD	Head Mounted Display, päähän kiinnitettävä (pieni) näyttö
IGD	Institut für Graphische Datenverarbeitung
ISMAR	International Symposium of Mixed and Augmented Reality
Markerfield	Useasta markkerista koottu markkerijoukko. Paikoitus saadaan laskettua tarkemmin.
Markkeri	Todelliseen maailmaan asetettu kohdistuspiste, jonka suhteen virtuaalisia kohteita sijoitetaan reaali maailmasta otettuihin kuviin.
MR	Mixed Reality
OSG	OpenSceneGraph (OSG) on avoimen lähdekoodin grafiikkakirjasto.
PLM	Tuotteen elinkaaren hallinta, Product Lifecycle Management
SLAM	Simultaneous Localisation and Mapping
TUM	Technische Universität München
UMPC	Ultra Mobile PC
VR	Virtual Reality, virtuaalitodellisuus
VRML	Virtual Reality Modelling Language
ZGDV	Zentrum für Graphische Datenverarbeitung





# 1. Johdanto

Yksittäistuotteiden ja räätälöitävien tuotteiden kokoonpano on usein hidasta, kallista ja altista virheille. Tuoteenvaihto on hidasta, sillä asetusajat ovat pitkiä. Tarvittavan kokoonpanoinformaation ja tarvittavien komponenttien haku on työlästä ja aikaa vievää, ja lisäksi virheiden mahdollisuus on suuri. Kokoonpanoinformaatio on tyypillisesti talletettu 2D-kuvina ja tekstinä, ja usein ohjeet koskevat useampaa tuotetta tai alikokoonpanoa, joskus jopa koko tuoteperhettä. Ohjeiden yksiselitteinen tulkinta yksittäisiä työtehtäviä varten vaatii ammattitaitoa ja kokemusta, mutta kokeneellekin työntekijälle voi sattua vääriä tulkintoja ja virheitä. Toiminta on pitkälti työntekijän muistin varassa. Lisäksi eri teknisten osajärjestelmien dokumentaatio sijaitsee tyypillisesti eri dokumenteissa, jolloin kokonaiskuva välittyy puutteellisesti. Esimerkiksi sähkö- ja hydraulijärjestelmät on tyypillisesti dokumentoitu eri paikkaan kuin mekaaninen kokoonpano. Kokoonpanotyötä helpottamaan on laadittu erilaisia opastusjärjestelmiä esimerkiksi elektroniikkateollisuudessa, ja niillä on myös saavutettu tuloksia. Massatuotantoon tehdyt järjestelmät ovat kuitenkin liian työläitä yksittäistuotantoon. Suunnitteluvaiheessa nimittäin luodaan suurelta osin se informaatio, joka tarvitaan ohjaamaan tuotteen tehokasta kokoonpanoa. Ongelmana on, ettei tieto välity kokoonpanotyöhön käyttökelpoisessa, havainnollisessa muodossa. Pitkällä tähtäimellä tehtaan lattialla tapahtuva suunnittelu täydentävä päätöksenteko on minimoitava, mille on edellytyksenä informaation tehokas välittäminen visuaalisesti.

Vaikka AR-teknologia on erittäin visuaalista ja tehokasta, sitä on käytetty tuotantoympäristöissä hyvin vähän. Syitä on monia. Tähän saakka AR-laitteistot ovat olleet liian hankalia teollisuusympäristössä käytettäväksi ja osaltaan myös liian kalliita. AR-pohjaisten ohjeiden luonti on vaativampaa kuin perinteisten 2D-piirustusten, jotka luodaan samalla CAD-ohjelmalla kuin itse 3D-malli. 2D-piirustukset myös päivittyvät automaattisesti 3D-mallin päivityksen yhteydessä. Nykyiset CAD-ohjelmat eivät vielä tue AR-pohjaisten ohjeiden luontia vaan 3D-mallit on siirrettävä erilliseen ohjelmaan, joka luo ne. Lisäksi useissa tapauksissa 3D-mallit ovat raskaita, joten niitä on kevennettävä. 3D-mallien siirto kaupallisista CAD-järjestelmistä AR-pohjaisiksi kokoonpano-ohjeiksi on tällä hetkellä pitkälti manuaalista, samoin kuin ohjeiden päivitys. AR-ohjeiden luon-

## 1. Johdanto

tia vaikeuttaa myös sopivien ohjelmien puute. Tilanne on kuitenkin oleellisesti muuttumassa. AR-ohjelmistot ovat kehittyneet teollisuusympäristössä vaadittavalle tasolle (esimerkiksi Alvar/VTT, Unifeye/Metaio) ja AR-ohjeiden luontiin tarvittavia ohjelmia alkaa olla saatavilla. Tarvittava prosessoriteho löytyy myös pienistä, mukana kuljetettavista laitteista ja halvat silmikkonäytöt ovat tulossa massatuotantoon. Pitemmän ajan tavoitteena on sisällyttää AR-ohjeiden luonti ja valmistusohjeet yleensäkin osaksi suunnitteluprosessia. Tällöin AR-ohjeet voitaisiin luoda esimerkiksi CAD-järjestelmän sisällä, ja valmiit ohjeet voisi tarvittaessa hakea vastaavasti yrityksen PLM-järjestelmästä.

AR-teknologian ansiosta kokoonpanotyö tehostuu. Kokoonpanijat keskittyvät itse kokoonpanotyöhön eivätkä siihen, mitä seuraavaksi pitäisi tehdä ja mitä kaikkea asennustyössä olisi huomioitava. Välittämällä täsmällistä ja tarpeellista informaatiota visuaalisessa muodossa kokoonpanotyöhön vältetään informaation etsimiseltä ja 2D-ohjeiden tulkinnalta. Pitemmällä aikavälillä valmistusohjeissa luovutaan 2D-piirustuksista, koska ne vaativat tulkintaa ja ovat epähavainnollisia. Valmistusinformaatio tarjotaan sen sijaan havainnollisessa ja tulkintavapaassa muodossa. Lopullisena tavoitteena ovat tietokone-tuetut kielestä ja kulttuurista riippumattomat ohjeet.

## 2. Lisätty todellisuus

Lisätty todellisuus (*Augmented Reality*, AR) kehittyi 1990-luvulla virtuaalitodellisuuden sisarteknologiana. Siinä havainnollistamisen pääpaino on lisätyllä visuaalisuudella. Kaikissa AR-järjestelmissä – riippumatta siitä, käytetäänkö niissä esimerkiksi silmikköä (*Head Mounted Display*, HMD) tai muuta näyttölaitetta – yhdistetään digitaalisia tai virtuaalisia objekteja käyttäjän näkemään kuvaan todellisesta maailmasta (kuva 1). AR:n voi tulkita myös laajemmin siten, että käyttäjän näkökentästä suodatetaan pois jotakin todellisesta ympäristöstä (välittynyt todellisuus). Tällöin käyttäjä voisi esimerkiksi ”nähdä” kokoonpanon sisälle.

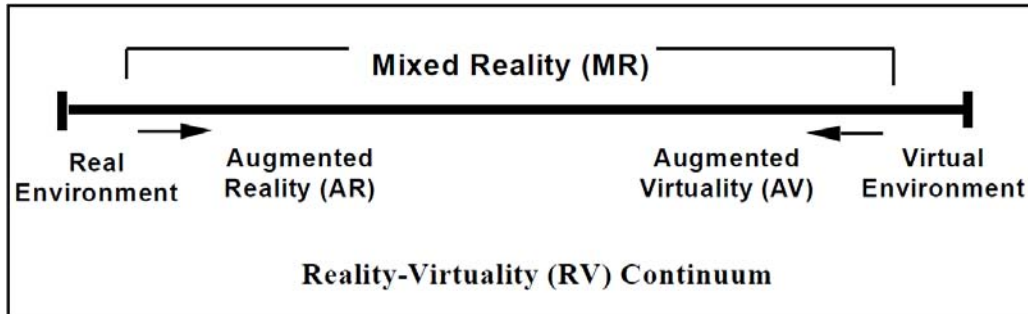


Kuva 1. Lisätty todellisuus muuttaa käyttäjän näkemää todellisuutta. Vasemmanpuoleisessa kuvassa lattialle on asetettu kohdistuspiste, ns. markkeri, jonka suhteen virtuaaliobjektit asennetaan. Oikeanpuoleinen kuva on se, mitä katselija näyttölaitteella näkee.

AR:ää ovat teollisissa sovelluksissa ottaneet käyttöön muun muassa teollinen muotoilu (autoteollisuus), rakennusteollisuus ja sisustussuunnittelu. Lisäksi monet sodankäynnin sovellukset käyttävät AR-teknologiaa. Teollisten ja kaupallisten sovellusten läpimurron odotetaan tapahtuvan pian. Aiemmin hankaliksi koettujen HMD-laitteiden rinnalle on viime aikoina ilmaantunut keveitä, miniatyyrikokoisia ratkaisuja (esim. Lumus, ks. kuva 5), jotka omalta osaltaan edesauttavat AR-menetelmien teollista hyödynnettävyyttä.

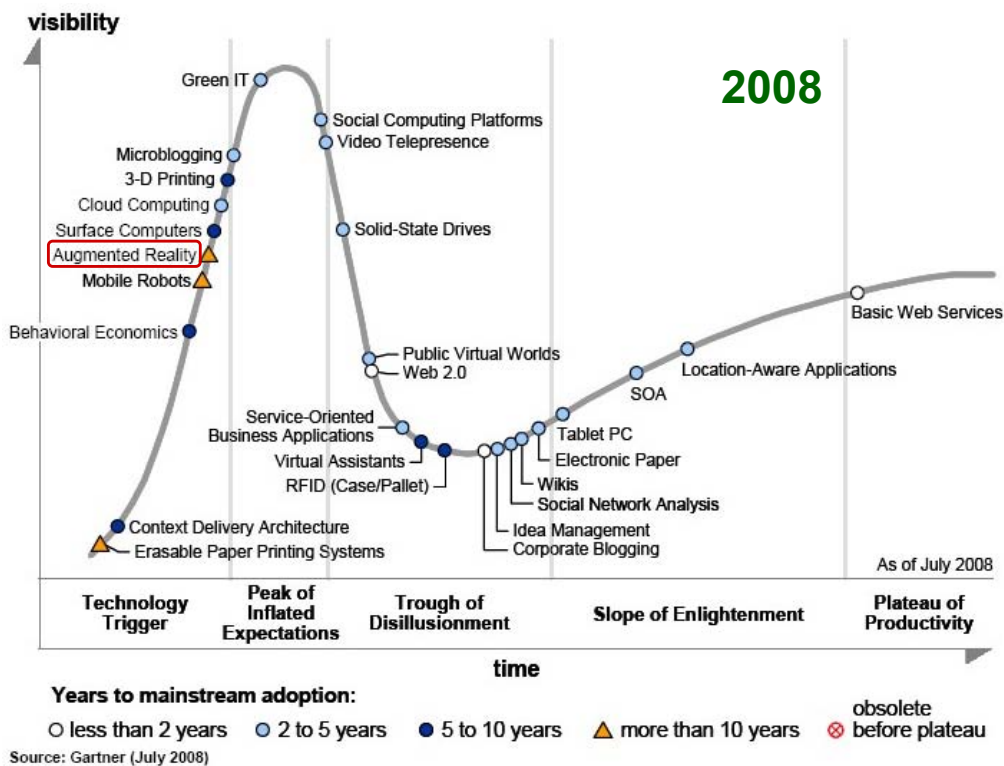
## 2. Lisätty todellisuus

Todellisuus–virtuaalisuus-jatkumon esitti ensimmäisenä Milgram et al. (1994) (kuva 2). Suomenkielinen termi *keinotodellisuus* kuvaa hyvin tätä kokonaisuutta. Lisätty todellisuus on sen yksi osa. Siirtyminen todellisuus–virtuaalisuus-jatkumolla on nopeaa ja käyttäjälle jopa huomaamatonta.



Kuva 2. Milgramin todellisuus-virtuaalisuus-jatkumo.

Vuosittain julkaistava hypekäyrä (Gartner 2008) (kuva 3) kuvaa nousevien teknologioiden suhteellista kypsyyttä. Siinä esitetään myös arvioita siitä, kuinka kauan kestää, että eri teknologiat ovat jokapäiväisessä käytössä. AR-teknologia on mukana yhtenä lähitulevaisuuden merkittävistä teknologioista, vaikka Gartnerin mukaan AR-teknologia olisi täysin valmis vasta yli kymmenen vuoden kuluttua.

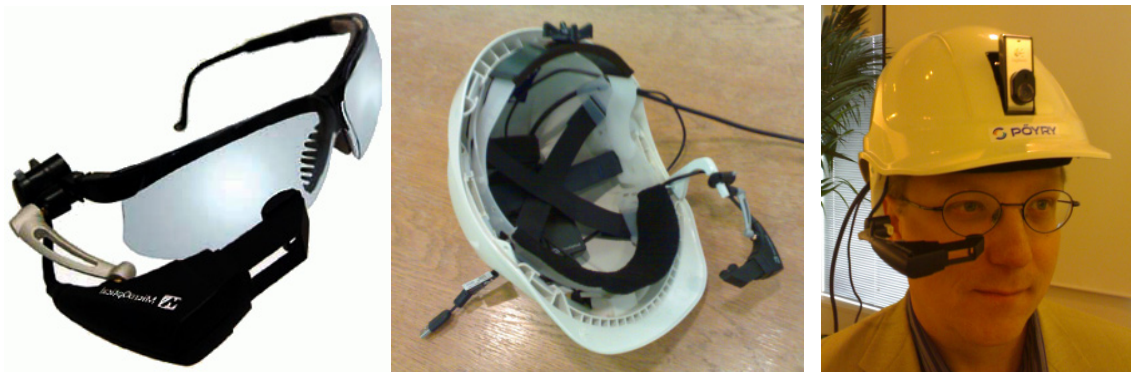


Kuva 3. Gartner-hypekäyrä vuodelta 2008. Lisätty todellisuus on ympäröity punaisella.

Projektin AR-sovelluksissa on käytetty tavallisia PC-koneita. Projektin eri vaiheissa pohdittiin pöytäkoneiden ohella myös muita laitevaihtoehtoja, kuten kämmen-PC:tä (nk. Ultra Mobile PC, UMPC). Mobiililaitteiden yhtenä ongelmana on kuitenkin virrankulutus. Uuden-Seelannin tutkijavierailun yhteydessä tehtiin *client/server*-pohjainen prototyypitoteutus Nokian N95 -kamerakännykälle. Tätä käsitellään luvussa 4.3.

AR-sovelluksiin liittyy tyypillisesti videokamera, jonka välittämää reaaliaikaista kuvaa käsitellään (kuvaan lisätään skaalattuja ja asemoituja virtuaalisia objekteja vastamaan käyttäjän katselupistettä). Tämä augmentoitu kuva siirretään valitulle näyttölaitteelle, kuten PC:n näytölle tai datalaseille. Kamera on yleensä kiinnitetty tai integroitu näyttölaitteeseen ja osoittaa sen kanssa samaan suuntaan (*video see-through*). Edulliset, muutaman kymmenen euron *notebook*-webbikamerat palvelevat nykyisin jo aivan hyvin AR-sovellusten demonstroinnissa, tutkimuskäytössä ja jopa joissakin sovelluksissa.

Projektin demonstraatiojärjestelmien näyttölaitteena käytettiin MicroOptical PC Viewer -miniatyyrinäyttöä eli yhden silmän (*monocular*) videopohjaisia datalaseja. Lisäksi projektin käytössä oli kypärä-kamera-datalasiyhdistelmä. Tämän kokonaisuuden etuna on, että lasihin liittyvät akut ja johdotukset saadaan kätevästi piiloon kypärän sisään (kuva 4).



Kuva 4. MicroOptical PC Viewer -datalasit ja Pöyryn kypärätoteutus (NASE-projekti).

MicroOpticalin datalasiin valmistusta jatkaa nykyisin MyVu-niminen yritys, päämarkkinanaan videoiden katselu Applen iPodilla. MyVu-laseista on nykyään saatavilla myös VGA-resoluution MyVu Crystal kahden silmän näyttö (*biocular*), jonka hinta on alle 300 euroa (kuva 5).

Videopohjaisen augmentoinnin vaihtoehto on optisella periaatteella toimivat läpinäkyvät näytöt (*optical see-through*), joiden pintaan augmentoitava informaatio heijastetaan. Augmentointi optisten datalasiin kanssa on kuitenkin teknisesti vaikeampaa kuin videopohjaisten. Erityisiä haasteita tällöin ovat muun muassa kalibrointi ja fokusointi.

Erityisiä odotuksia oli asetettu projektin loppuvaiheessa markkinoille tulleille Lumus-datalaseille (kuva 5), jotka osoittautuivat kuitenkin jo hinnaltaan (~ 10 000 €) epäso-

## 2. Lisätty todellisuus

viksi. Samoin esimerkiksi Carl Zeiss valmistaa tilauksesta optisia datalaseja, joiden hinta on noin 30 000 euroa.



Kuva 5. Tulevaisuuden vaihtoehtoja: MyVu Crystal -videolasit (vasemmalla); Lumus optical see through -lasit (keskellä) ja Laserin prototyyppi (oikealla).

Lupaava ratkaisu on tulossa markkinoille ranskalaiselta yritykseltä nimeltä Laster Technologies. Se suunnitteli tuovansa vielä vuoden 2009 aikana markkinoille kahden silmän optiset datalasit alle 1 000 euron hintaan.

Yhtenä, mahdollisesti hyvinkin käyttökelpoisena tulevaisuuden ratkaisuna mainittakoon vielä projektoripohjaiset ratkaisut, joissa augmentoitava informaatio projisoidaan esimerkiksi lasersäteellä suoraan kokoonpanon päälle. Katseluun ei tällöin siis tarvita erillisiä laseja. AR-laitteistoja esitellään tarkemmin liitteessä E.

Projektissa käytettyjä kolmansien osapuolten ohjelmistoja olivat ARToolKit, Open SceneGraph ja VTT:n ALVAR-kirjasto. **ARToolKit** on ohjelmistokirjasto lisätyn todellisuuden sovelluksien rakentamista varten. Ohjelmakirjasto on vapaasti saatavilla osoitteessa [www.hitlabnz.org](http://www.hitlabnz.org). Ohjelmistoa kehitetään jatkuvasti, ja siitä ilmestyy päivitettyjä versioita. **OpenSceneGraph** on avoimen lähdekoodin grafiikkakirjasto. **ALVAR** on ohjelmistokirjasto lisätyn todellisuuden sovellusten rakentamista varten. Ohjelmistokirjasto on VTT:n tekemä, ja siinä on korjattu ARToolKit-kirjaston puutteita sekä kehitetty eteenpäin myös muilta osin. VTT julkaisi ALVARin kahtena versiona: vapaasti lähinnä kokeilutarkoituksiin käytettävänä suppeana versiona ja maksullisena versiona kaupallisten sovellusten tekemiseen. Ohjelmistokirjasto julkaistiin syyskuussa 2009, ja VTT jatkaa sen kehittämistä edelleen.

### 3. AR kokoonpanossa

Kokoonpano on tuotekohtaisesti valmistettujen osien, standardikomponenttien ja tarvikkeiden liittämistä toisiinsa toimivaksi tuotteeksi. Tuotteessa voi olla osakokoonpanoja, joista syntyy osakokonaisuuksia. Loppukokoonpanossa osakokoonpanot ja muut osat liitetään toisiinsa valmiiksi lopputuotteeksi. Kokoonpanotyön osuus tuotteen kokonaistyöajasta saattaa olla jopa 20–40 prosenttia. Kokoonpanotyö on usein manuaalista, koska kaikkea kokoonpanoa ei voi tai ei kannata automatisoida. Etenkin varioituvien tuotteiden loppukokoonpano on tyypillisesti manuaalista. Ihmisen joustavuus ja päätteilykyky mahdollistavat varioituvien tuotteiden tehokkaan kokoonpanon.

Esimerkiksi autoteollisuuden lopputuotteissa on paljon asiakkaan itse valitsemia ominaisuuksia. Kokoonpantaessa sarjatuotantona linjakokoonpanossa lähes yksilöllisiä tuotteita, pitää tuotteiden kokoonpanon olla erittäin hyvin hallinnoitua. Esimerkiksi Fiat-konsernin uutta 500-mallin autoa on mahdollista saada 500 000 erilaisena versiona. Tuotteen muunneltavuus on kokoonpanolle haasteellista, mutta se luo asiakkaan näkökulmasta tuotteelle lisäarvoa. Asiakas saa yksilöllisen tuotteen, vaikka se valmistetaan ja kokoonpannaan standardiosista.

Vielä nykyisin kokoonpano-ohjeet ovat pääsääntöisesti 2D-piirustuksia ja tarkentavaa tekstiä. Tietokoneiden yleistyessä kokoonpanopisteissä myös kokoonpano-ohjeet muuttuvat. 3D-mallit siirtyvät kokoonpanopisteisiin VR- ja/tai AR-pohjaisina ohjeina, ja 2D-piirustukset katoavat vähitellen. AR-pohjaisiin ohjeisiin voidaan lisätä monenlaista informaatiota kuten tekstiä, symboleja, kuvia ja animaatioita. Yksi AR-sovelluksen suurimmista hyödyistä on, että ihmisen käyttöön saadaan tietokoneen kapasiteetti. AR toimii käyttöliittymänä (kokoonpano)informaatioon.

AR-teknologialla saadaan tutkittua ja testattua sellaisia asioita, joihin muilla virtuaalitekniikoilla ei päästä käsiksi – ainakaan kohtuullisin kustannuksin. AR-teknologiaa voidaan hyödyntää esimerkiksi sovittamalla kokoonpanoa ja kokoonpanopaikkaa paremmin yhteen. Tällöin tuotteesta riittää kokoonpanomalli, jonka kanssa voidaan mennä todelliseen kokoonpanoympäristöön ja tarkastella syntyvää tuotetta. Yksittäisten osien asentamista voidaan tarkastella suoraan työpisteellä ja varmistaa näin kokoonpantavuutta. Kun muuttuvaa kokoonpanoympäristöä ei tarvitse mallintaa, säästyy aikaa ja rahaa.

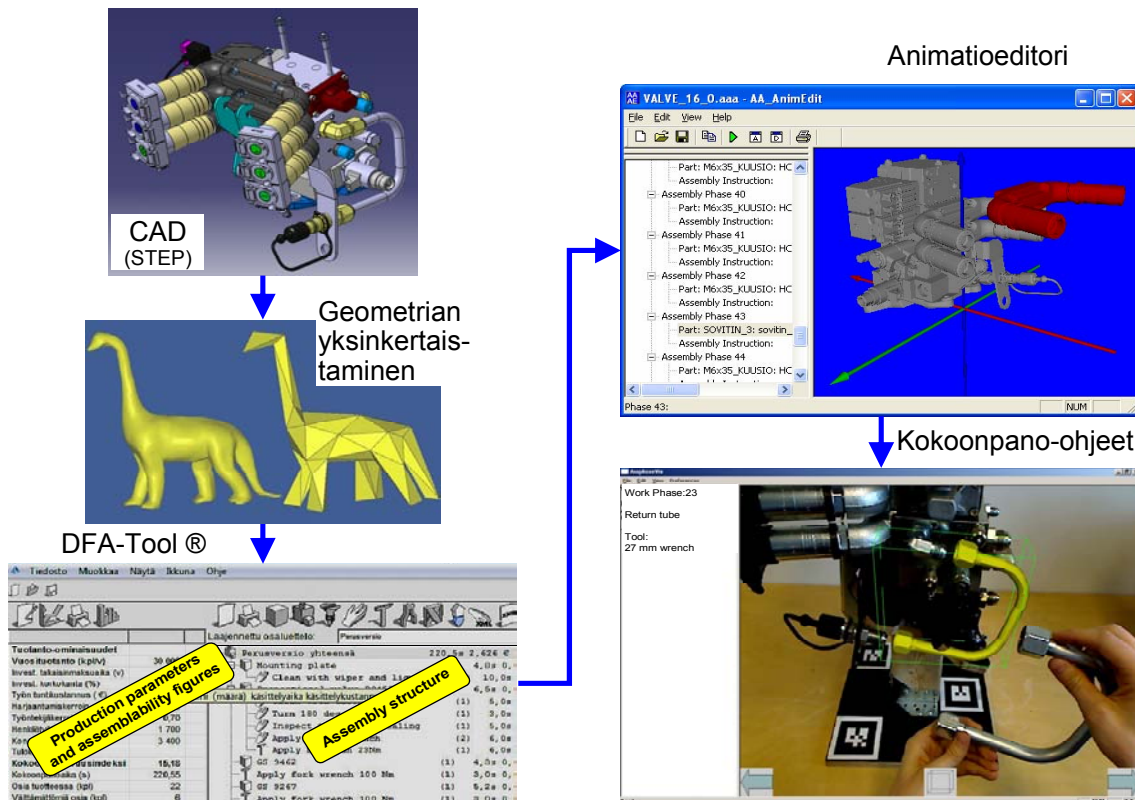
### 3. AR kokoonpanossa

Ohjeet ovat helpommin ymmärrettävissä, kun ne eivät ole paperisissa ohjekirjoissa vaan 3D-malleina liitettynä oikeaan kokoonpantavaan osaan ja työtehtävään. 3D-mallien avulla voidaan näyttää askel askeleelta, kuinka kokoonpano suoritetaan. AR-ohjeissa 3D-malleja voidaan myös animoida. Näin saadaan näytettyä kokoonpanijalle liikeradat, joita pitkin osat on kuljetettava kokoonpanoon. Kokoonpanijan on helppo noudattaa visuaalisia ohjeita ja tehdä kokoonpano ohjeiden mukaisesti – ja aina täysin oikein. AR:n avulla ohjeet voidaan luoda kulttuurista ja kielestä riippumattomiksi.

#### 3.1 Suunnittelu- ja valmistusprosessi

Tuotemallin tulisi sisältää kaikki tieto tuotteesta ja sen valmistamisesta. AR-ohjeet liitetään tuotemalliin ja tuotesuunnitteluprosessia muutetaan siten, että AR-ohjeiden luonti on osa tuotesuunnittelua, jota tukevat myös tuotesuunnittelun ohjelmistot. Käytännössä AR-ohjeet on yksi PDM/PLM-järjestelmään vietävän tuotemallin osa, ja ne voidaan myös hakea tai generoida sieltä.

AR-ohjeiden luonti on vielä monivaiheista. Suunnittelutieto on ohjeiden lähtökohta: tietoa pitää siirtää, ja sitä on hankittava lisää tai rikastettava (kuva 6).



Kuva 6. Projektissa kehitetty menetelmä AR-ohjeiden tekemiseen. Eri ohjelmistot on kytketty AR-luontiketjuksi. Kokonaisvaltainen ketju sisältää CAD:n, mallien yksinkertaistamisen, DFA:n, animaatioeditorin ja lopuksi AR-ohjeiden esittämisen käyttäjälle.

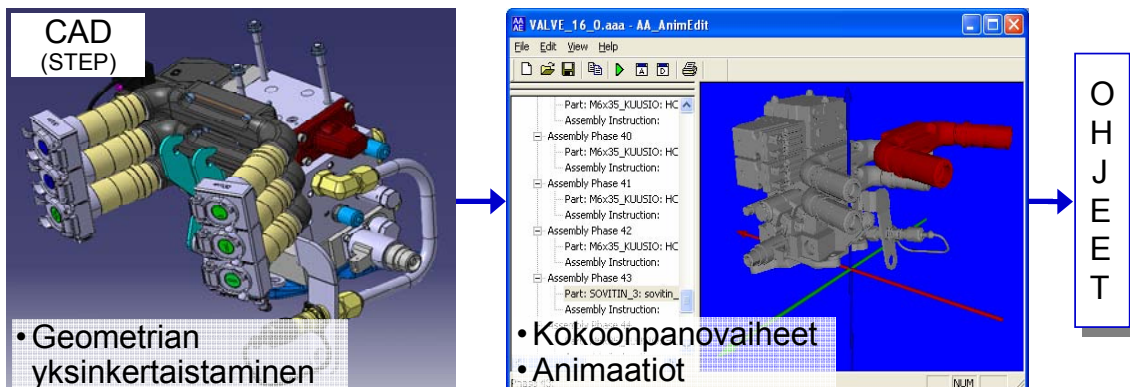


Ohjeistettavan kokoonpanon 3D-malli kirjoitetaan CAD- tai CAD/PDM/PLM-järjestelmästä STEP-formaattiin. Useimmat kaupalliset CAD-järjestelmät tukevat STEP-standardia. Seuraavassa vaiheessa osien geometria kolmioidaan halutulla tarkkuudella visualisoinnin tarpeisiin. Selkeästi keveämpiin visualisointimalleihin päästään poistamalla 3D-mallien yksityiskohtia. Näitä ovat muun muassa pienet reiät, viisteet ja pyöristykset. Lisäksi ei-näkyvän geometrian poisto (kappaleen sisäosat) saattaa pienentää malleja huomattavasti.

Suunnittelun kokoonpanorakenne luetaan DFA-Tool-ohjelmaan, jossa käyttäjä luo siitä valmistuksen kokoonpanorakenteen työvaiheineen ja lisää yksittäisiin työvaiheisiin tarvittavat työkalut ja muut työohjeet. Sen jälkeen työvaiheille tehdään AR-visualisointi VTT:n AugAsseAnim-ohjelmalla eli työohjeisiin lisätään osien tai osakokoonpanojen liike ja asento suhteessa osan lopulliseen paikkaan ja asentoon. Nämä kokoonpanija näkee näyttölaitteellaan. Myös työkaluja voidaan lisätä käyttäjän näkymään. Tämän jälkeen ohjeet ovat valmiit näytettäväksi VTT:n AugAsseVis-ohjelmalla. Liitteessä B kerrotaan ohjelmien käytöstä tarkemmin.

DFA-ohjelman lisäksi digitaalista tuotetta tulisi tutkia myös muilla tuotteen elinkaaren vaikuttavilla ohjelmilla kuten DFM:llä (*Design for Maintenance*) ja DFS:llä (*Design for Service*). Yleistettynä suunnittelun tulee tukea tuotteen koko elinkaarta (*DFPLM, Design for PLM*). Näin varmistetaan tuotteen käytettävyyks koko elinkaaren ajan.

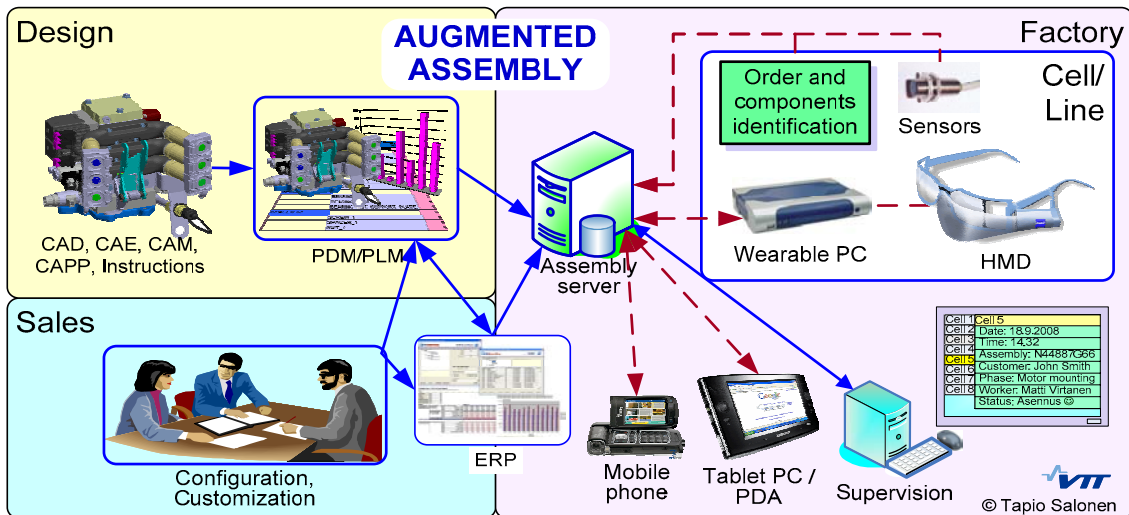
Kun DFX-analyysit on tehty, suunnittelu- ja valmistusprosessissa voidaan käyttää nopeampaa vaihtoehtoa (kuva 7). Siinä muokataan CAD-järjestelmällä suunnittelumalli suoraan valmistuskokoonpanoksi, jossa kokoonpanojärjestys ja käytettävät osat tai osakokoonpanot vastaavat todellista kokoonpanoa. Jos mallin geometria on raskas, sitä kevennetään CAD:n omilla ominaisuuksilla. Selvintä on poistaa yksityiskohtia, joita ei kokoonpanossa tarvita. Animaatioeditorissa luodaan tarvittavat työvaiheet ja niihin liittyvä informaatio.



Kuva 7. Yksinkertaistettu menetelmä AR-pohjaisten ohjeiden luomiseksi.

### 3.2 Integraatio yrityksen tietojärjestelmiin

Integraatioista toteutettiin liitäntä CAD-järjestelmään. Se tehtiin STEP-standardin avulla, joten toteutus ei ole CAD-järjestelmästä riippuvainen. Yleisnäkymä tarvittavista integraatioista esitetään kuvassa 8.



Kuva 8. AR-ohjeiden tehokas luominen vaatii suunnitteluautomaation nostoa ja sitä tukevaa integraatiota.

STEP-standardin mukaisessa integraatiossa kokoonpanorakenne (alikokoonpanot, osat) ja osien geometria siirtyvät hyvin. Kokoonpanoon tai sen osiin liitetty teksti siirtyy huommin, mikä johtuu standardin puutteellisesta toteutuksesta. Tässä toteutuksessa hyödynnettiin kokoonpanorakenteen ja geometrian siirtoa STEP-standardin avulla. Työvaiheisiin kuuluva teksti syötettiin DFA-ohjelmassa.

Pitemmälle mentäessä tuotekonfiguraattori on kytkettävä mukaan ohjeiden luontiin. Tällöin voidaan luoda työohjeet jokaiselle tuotteelle erikseen siltä osin kuin ne poikkeavat perusohjeista. Alkuvaiheessa toiminto olisi ”puoliautomaattinen” eli se päivittäisi perustyöohjeeseen konfiguraattorin valitsemat osat oletuskokoonpanojärjestykseen. Tavoitteena on täysin automaattinen AR-ohjeiden generointi konfiguraattorin määrittämälle kokoonpanolle. Vastaavanlaiset ohjeet voitaisiin tuottaa myös huoltoa varten.

## 4. Demonstraatiojärjestelmät

### 4.1 Kuution kokoaminen

3D-kuutio todettiin hyväksi esimerkkikohteeksi järjestelmää kehitettäessä, sillä se vastasi hyvin todellista kokoonpanotilannetta. Sen avulla voitiin simuloida useita oikean kohteen ongelmia ja ominaisuuksia (kuva 9).



Kuva 9. Kuution kokoaminen valittiin demonstraatiojärjestelmäksi, sillä se kuvaa hyvin kokoonpanotapahtumaa: osat kerätään tyypillisesti laatikoista. Vaikka kuutiossa on vain kuusi osaa, sen kokoaminen ilman ohjeita on työlästä.

Kokoamista varten rakennettiin kokoamispaikka, tässä tapauksessa työstetty levy, jonka reunoille sijoitettiin kohdistusmerkit eli ns. markkerit. Tämän markkerijoukon eli ns.

#### 4. Demonstraatiojärjestelmät

markerfieldin avulla järjestelmä pystyi laskemaan kameran sijainnin kokoonpanoon nähden ja mallien asemointi saatiin niin luotettavaksi kuin ArToolkit-kirjaston avulla oli mahdollista. Markerfield kuvataan tekstitiedostossa, jonka ohjelma lukee kokoonpano-ohjeen yhteydessä. Tällä tavoin oli mahdollista luoda uusi kokoonpanopaikka aina tarpeen tullen eri kohteisiin.

Kokoonpano-ohjeet kuvattiin XML-tiedostossa, jossa määriteltiin käytettävä 3D-malli ja osien liittäminen työvaiheisiin. Yksi työvaihe saattoi sisältää yhden tai useamman osan. Lisäksi jokainen osa voitiin asemoida työvaihekohtaisesti sekä kuvata niille yksinkertainen ”lentorata” asennuskohtaan. Yksilöllinen asemointi mahdollisti, että samaa osaa voitiin käyttää eri työvaiheissa. Tämä vähentää järjestelmän tarvitseman muistin määrää ja kokoonpano-ohjeiden latausaikaa, jotka voivat olla ongelmallisia monimutkaisien kokoonpanojen yhteydessä.

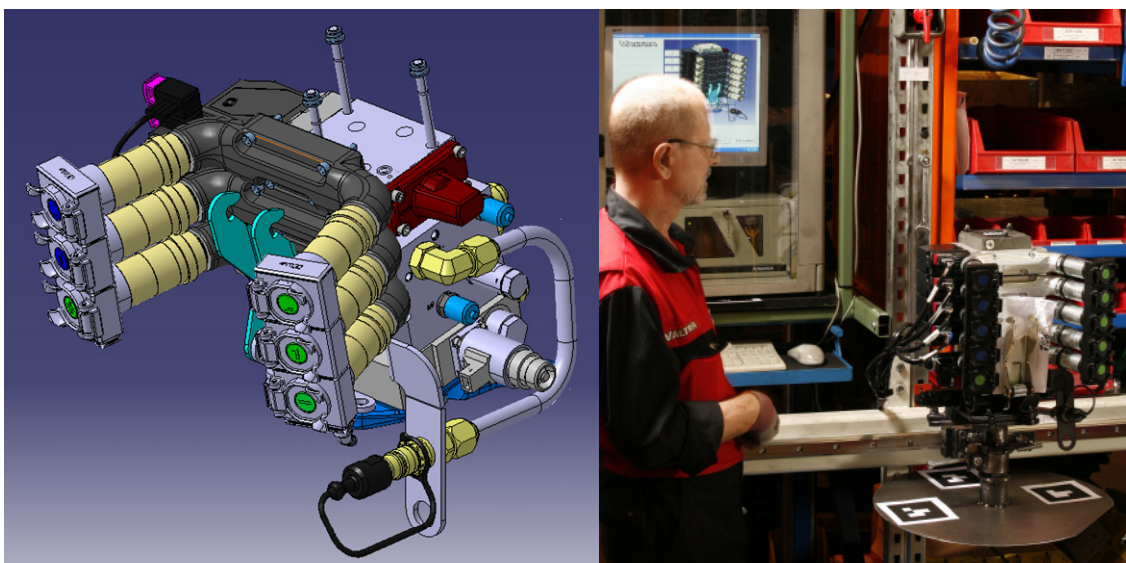
Osille määriteltiin myös yksilölliset markkerit (ID:t), joiden avulla voitiin määrittellä kussakin työvaiheessa asennettavan osan sijainti tarvikelaatikostossa. Yksittäisiin laatikoihin laitettiin markkeri, jolloin kussakin työvaiheessa voitiin näyttää, mistä tarvikelaatikosta milloinkin löytyy oikea kappale. Oikean laatikon paikka ilmaistiin nuolen avulla AR-näkymässä.

Visualisointi oli mahdollista PC:n ruudulla tai silmikkonäytön avulla. Demonstraatioihin sopivaksi todettiin MicroOptical PC Viewer -miniatyyrinäyttö eli yhden silmän (*monocular*) videopohjaiset datalasiset. Laseihin liitettiin kiinni yksinkertainen webbikamera, joka pyrittiin asemoimaan mahdollisimman hyvin silmien mukaisesti. Kuution kokoamisessa käytettyä ohjelmaa hyödynnettiin myös multimodaalisen käyttöliittymän testaamisessa. Siitä kerrotaan tarkemmin luvussa 4.4.

### 4.2 Hydrauliikkablokin kokoaminen

Pilotkohteeksi valittiin Valtra Oy:n hydrauliikkablokin kokoaminen (kuva 10). Syitä valintaan olivat muun muassa hydrauliikkablokin sopiva koko, oma kokoonpanopiste (ei häiritse muuta tuotantoa), variaatioiden runsaus, kokoonpanon vaativuus ja kokoonpantavien osien tai komponenttien määrä (noin 30).

AugAsseVis ohjelmaa testattiin Valtran hydrauliikkablokin kokoonpanossa. Tätä varten TTY:lle rakennettiin kokoamispiste ja -alusta, johon eri osat voitiin kasata. Alustaan kiinnitettiin markkereita paikoituksen laskemiseksi. Alusta muotoiltiin siten, että käyttäjä saattoi pyörittää sitä kokoonpanon aikana. Näin tapahtuu myös todellisessa kokoonpanossa. Kamera kiinnitettiin nivelellä varustettuun varteeseen, jolloin käyttäjän kädet vapautuivat työskentelyyn. TTY:llä järjestelmää testattiin erillisen kameran, tavallisen monitorin ja HMD:n avulla. Valtran tehtalla hydrauliikkablokin kokoamisalustaan kiinnitettiin metallinen levy, johon markkerit kiinnitettiin. Siellä kokeiltiin lisäksi kämmentietokoneen soveltuvuutta AR-ohjeistuksessa.



Kuva 10. Vasemmalla hydraulikkablokin 3D-malli ja oikealla valmis kokoonpano.

Valtran hydraulikkablokki on hyvin moniosainen ja sisältää runsaasti geometrisia yksityiskohtia. Suurin osa ohjelman kuluttamasta laskentatehosta kuluukin virtuaalisten objektien piirtoon, mutta nykyaikaisilla näytönohjaimilla tämä ei ole ongelmaa. Kevyempiä päätelaitteita varten mallin geometriaa tulee kuitenkin redusoida reaaliaikaisen piirron saavuttamiseksi.

Hankkeessa käytettiin kuluttajamarkkinoille suunnattuja edullisia USB-kameroita, joiden todettiin soveltuvan demonstraatioon riittävän hyvin. Tällaisten kameroiden resoluutio ja kuvanopeus ovat kuitenkin melko alhaisia. Projektissa todettiin, että parempilaatuisia, IEEE1394-standardin mukaisia teollisuuskameroita voitaisiin käyttää, kun projektin kehittämistä jatketaan. Sekä kuvanopeuden että tarkkuuden kasvattaminen parantaisi paikoituksen laatua ja antaisi tarkemman kuvan kokoonpantavasta kohteesta. Laadukkaammat kamerrat kasvattavat laitekustannuksia vain vähän. Markkeripohjainen AR on nopea ja helppo toteuttaa, ja teknologia soveltuu hyvin erilaisten prototyypin tekemiseen.

Markkereita voidaan käyttää myös lopullisessa sovelluksessa. Tarvikelaatikostot voitaisiin varustaa markkereilla, jolloin käyttäjälle pystyttäisiin visualisoimaan kuhunkin työvaiheeseen liittyvät komponentit ja niiden sijainti. Näin voitaisiin toteuttaa yksinkertaistettu versio ohjeistuksesta: näytettäisiin seuraava asennettava komponentti ja mistä se löytyy. Itse asennus tapahtuisi kuten nykyäänkin.

### 4.3 Augmentointi kamerakännykällä

Mika Hakkaraisen Uuden-Seelannin vaihtotutkijamatkan yhtenä tavoitteena oli tutkia, kuinka nykyaikaisia älypuhelimia voitaisiin hyödyntää lisätyn todellisuuden päätelait-

#### 4. Demonstraatiojärjestelmät

teina, erityisesti tarjottaessa kokoonpanojen ohjeistusta loppukäyttäjälle. Keskeinen tavoite oli tutkia ja toteuttaa ohjelmisto, jolla älypuhelin toimisi lisätyn todellisuuden kokoonpanon ohjeistuksen (huollon) mobiilina päätelaitteena.

Älypuhelimien yleistymisen ja tekninen kehittyminen tarjoavat lisätyn todellisuuden sovelluksille jo nyt monipuolisia mahdollisuuksia. Laitteiden kameroiden taso vastaa jo halpojen digitaalisten kameroiden laatua, ja älypuhelimien käyttöjärjestelmä, prosessointiteho ja tietoliikenneominaisuudet tukevat monimutkaistenkin sovellusten toteuttamista (kuva 11).



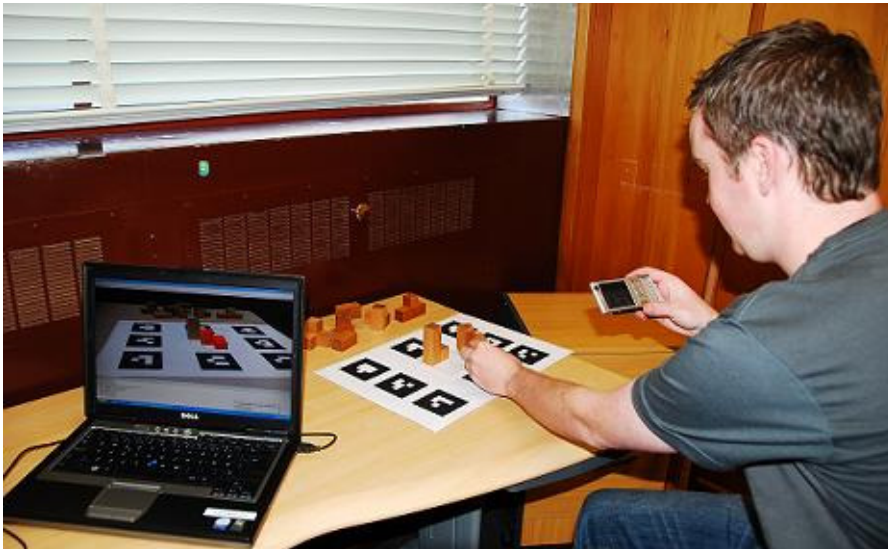
Kuva 11. Älypuhelimena käytettiin Nokian N95- ja N96-malleja.

Toteutusta mietittäessä havaittiin pian, että matkapuhelinten ominaisuudet ovat silti edelleen erittäin rajalliset vaativien AR-sovellusten näkökulmasta. Keskeinen ongelma oli kompleksisten 3D-mallien visualisoinnin vaatima prosessointiteho. Matkapuhelinten 3D-grafiikan tuki on rajallinen, eikä puhelimiin juurikaan löydy erilaisten 3D-formaattien lukemiseen tai muuntamiseen tarvittavia työkaluja (kirjastoja). Tästä syystä päädyttiin asiakaspalvelinarkkitehtuuriin, jossa kuvan tunnistaminen ja 3D-grafiikan esittäminen hajautetaan palvelimelle ja matkapuhelinta käytetään kevyenä lopputuloksen visualisoijana. Jotta käyttäjälle voidaan silti tarjota tarpeeksi monipuoliset ohjeistukset kokoonpanotyöhön, jouduttiin visualisointiin miettimään uusia lähestymistapoja.

Toteutus pohjautuu käyttäjän ottamiin yksittäiskuviin ja niiden analysointiin palvelimella. Palvelimessa on tieto kokoonpanokohteesta (markkeri(t)) sekä kokoonpanosta itsestään työvaiheineen ja työvaiheisiin kuuluvine virtuaalimalleineen. Palvelin käsitte-

lee samaa projektikuvausta kuin PC:n AugAsseVis-ohjelma, jota käytettiin muun muassa 3D-kuution kokoamisessa ja Valtran hydraulikkakokonaisuuden visualisoinnissa.

Asiakas käyttää älypuhelinta siis kevyenä päätelaitteena. Hän ottaa yksittäiskuvan kokoonpanon kohteesta ja samalla kertoo, haluaako siirtyä seuraavaan, pysyä nykyisessä (kuva eri suunnasta kuin aikaisempi) vai palata edelliseen työvaiheeseen. Tämän jälkeen puhelin lähettää kuvan palvelimelle, joka käyttäjän antaman siirtymätiedon perusteella päättelee, minkä työvaiheen asennuskuvan se augmentoi. Samalla palvelin laskee kameran sijainnin markkereiden avulla ja asemoi näin virtuaalisen mallin kamerakuvaan oikeaan kohtaan. Lopuksi palvelin lähettää augmentoidun kuvan takaisin puhelimelle. Matkapuhelimen ohjelmisto näyttää käyttäjälle siis tämän itsensä ottaman kuvan augmentoituna työvuorossa olevan osan kanssa (kuva 12).



Kuva 12. Älypuhelin lähettää ottamansa kuvan tietokoneelle (esimerkiksi kannettava tietokone), jossa kuvaa lasketaan tarvittavan virtuaaliobjektin kuva. Sitten se lähetään takaisin älypuheliin, joka liittää sen alkuperäiseen kuvaan.

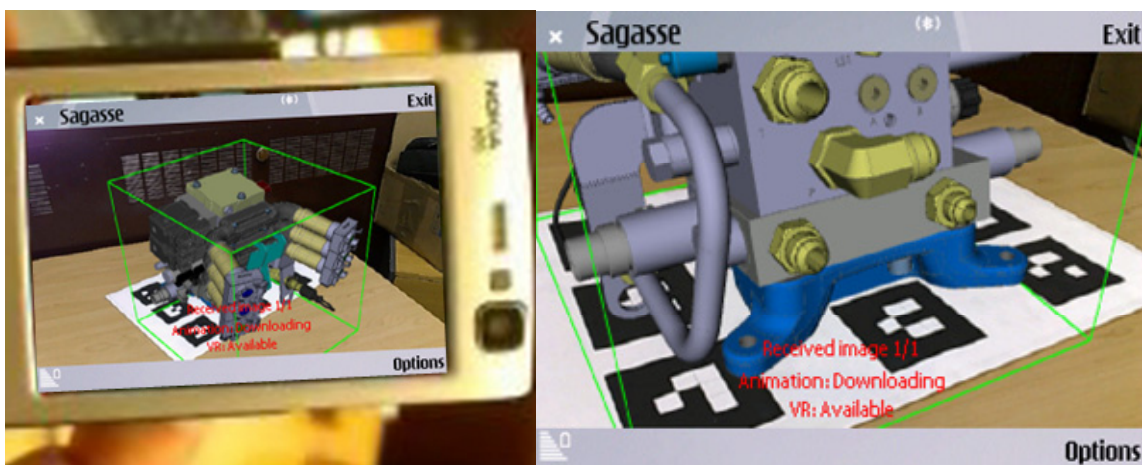
Yksittäiskuvien käytön ansiosta käyttäjän molemmat kädet jäävät vapaiksi asennustyötä varten. Kuvan otettuaan hän voi katsella siitä asennusohjeet ja laskea päätelaitteen sitten käsistään asennustyön tekemiseksi.

Asiakas-palvelinarkkitehtuuri mahdollistaa hyvinkin monipuolisten 3D-mallien käytön järjestelmässä. Visualisointia ei rajoita matkapuhelimen teho, sillä visualisointi tapahtuu tietokoneella. Yksittäisen mallin animointi matkapuhelimella ilman palvelinta voisi useissa tapauksissa olla mahdollista, mutta tällöin mallin on oltava hyvin pieni. Lisäksi malli pitäisi siirtää puhelimeen. Valitulla toimintatavalla voidaan käyttää useaa 3D-mallia yhtä aikaa, eli edellisten työvaiheiden malleja voidaan käyttää nykyisen työvaiheen mallin peittämiseksi. Tällä tavoin malli saadaan asemoitua maisemaan oikein eli tarvittaessa jo asennettujen kappaleiden taakse. Laskennan hajauttaminen palvelimel-

#### 4. Demonstraatiojärjestelmät

le mahdollistaa myös tulevaisuudessa uusien (monimutkaisempien) kuvan analysointialgoritmien (esim. mallipohjainen sovitus) liittämisen järjestelmään ilman, että asiakaspään sovellusta tarvitsee muuttaa. Palvelinta käytettäessä tarjottava informaatio pysyy myös aina ajantasaisena.

Valtran hydraulikkablokin kaikki mallit olivat VRML-formaatissa alun perin noin 32 MB, ja mallien polygonien määrä lähenteli miljoonaa. Tällaisen määrän visualisointi matkapuhelimessa ei olisi ollut reaaliajassa mahdollista vaan malleja olisi pitänyt yksinkertaistaa rajusti. Nyt yksinkertaistusta ei tarvittu, joten mallien ulkonäkö oli erinomainen (kuva 13).



Kuva 13. Hydraulikkablokin kokoonpanoa älypuhelimella.

Lisäksi mietittiin erilaisia tapoja lisätä käyttäjälle tarjottavaa informaatiota muidenkin kuin yksittäiskuvien muodossa. Järjestelmään tehtiin yksinkertainen animointi, jossa asemoitava kappale lentää (tippuu) oikealle paikalleen. Animoinnissa otettiin huomioon aiemmin asemoitujen kappaleiden sijainti, jolloin kappale saatiin menemään tarvittaessa ”oikeiden kappaleiden taakse”. Animointi laskettiin palvelimella ja matkapuhelimelle lähetettiin ainoastaan sarja pieniä kuvia, joiden sijainti kokonaisuudessa tiedettiin, ja muu osa kuvasta määriteltiin läpinäkyväksi. Tällä tavoin voitiin luoda 3D-mallin animointi 2D-kuvaan.

Järjestelmään lisättiin myös ns. virtuaalimoodi. Sen avulla tutkittiin, voitaisiinko käyttäjälle tarjota yksinkertaisella tavalla lisäinformaatiota kappaleesta ja sen sijainnista kokonaisuudessa. Tässä tapauksessa palvelin laski sekä kokonaisuudelle että kussakin työvaiheessa olevalle kappaleelle ns. rajalaatikon (*bounding box*). Käyttäjälle visualisointiin VR-moodissa kokonaisuuden rajalaatikko sekä kappaleen rajalaatikko kokonaisuuden sisällä. Tällä tavoin pyrittiin tarjoamaan käyttäjälle lisäinformaatiota siitä, mihin nyt asemoitava kappale sijoittuu kokonaisuudessa. Lisäksi kappaleen rajalaatikon tahkoihin on mahdollista liittää virtuaalikappaleen ortogonaalisia yksittäiskuvia eri suunnista.



Yhteys palvelimen ja puhelimen välillä toimii Bluetoothin tai WLAN-yhteyden kautta. Periaatteessa WLAN-toteutus mahdollistaa myös GRPS- tai 3G-yhteyden käyttämisen, jolloin palvelin voisi sijaita vaikka toisella puolella maapalloa. Erilaisia huoltoon liittyviä toimenpiteitä voisi toteuttaa tällaisella järjestelmällä.

#### **4.4 Multimodaaliset kokeilut**

AugAssen ensimmäistä ohjelmaversiota hyödynnettiin myös MUSCLE-projektissa tutkittaessa multimodaalisen käyttöliittymän käyttöä kokoonpanon yhteydessä. Ohjelmaan integroitiin yksinkertainen elekäyttöliittymä, jonka avulla käyttäjä pystyi siirtymään työvaiheiden välillä osoittamalla kädellään kamerakuvassa näkyviä komento-objekteja. Tämä perustui käyttäjän käden värin tunnistamiseen. Väri oli kalibroitavissa tapauskohtaisesti, jolloin myös esimerkiksi hansikkaan käyttäminen oli mahdollista.

Ääniohjaus toteutettiin Kreetan Teknillisen korkeakoulun (TUC) toteuttaman järjestelmän avulla. Ääniohjaimeen oli syötetty etukäteen tunnistettavat komennot, jotka järjestelmä pyrki havainnoimaan puheesta. Äänimallina oli miehen ääni ja kielenä englanti.

Multimodaalista liittymää testattiin pienimuotoisella käyttäjätestillä. Testihenkilöt pitivät multimodaalista käyttöliittymää hyvänä ajatuksena, mutta tässä vaiheessa toteutus oli vielä vajavainen. Varsinkin naisten äänikomennot eivät toimineet miehen äänimallin vuoksi. Myös äänen käyttäminen teollisuusympäristössä on haastava tehtävä, sillä tehdashallin äänet voivat häiritä järjestelmää.

## 5. Käyttäjäkokeet

Projektissa on tehty käyttäjäkokeita Sloveniassa, Suomessa Tampereella ja Uudessa-Seelannissa. Taulukossa 1 esitetään käyttäjäkokeiden paikka, aika ja julkaisun nimi.

Taulukko 1. Käyttäjäkokeet Sloveniassa, Suomessa Tampereella ja Uudessa-Seelannissa.

Paikka	Vuosi	Kokoonpano	Näyttö	Julkaisu
Slovenia	2007	Kuution kokoaminen	Datalasit	Kuution kokoaminen AR-tekniikan avulla <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2008/W89.pdf">http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2008/W89.pdf</a>
Suomi, Tampere	2008	Hydrauliikkablokin kokoaminen	Datalasit	Augmented Reality Efficiency in Manufacturing Industry: A Case Study <a href="http://innomet.ttu.ee/norddesign2008/">http://innomet.ttu.ee/norddesign2008/</a>
Uusi-Seelanti	2008	Kuution kokoaminen	Kännykkä	Augmented Assembly using a Mobile Phone <a href="http://www.ismar08.org/">http://www.ismar08.org/</a>

Käyttäjät ihastelivat AR-tekniikan visuaalisuutta ja ymmärrettävyyttä. AR-tekniikkaa pidettiin erittäin hyvänä. Vaikeatkin asiat tuntuivat yksinkertaisilta ja selkeiltä AR-animaatioiden ansiosta. Itse työtehtävä tuntui helpolta ja hauskalta jopa niin, että AR-tekniikkaa jäätettiin ihastelemaan. Kohdetta pyöriteltiin ja kokeiltiin, kuinka AR-visualisointi pysyy mukana, sekä virtuaalisia osia katseltiin eri suunnilta. Yhteenvetona voisi todeta, että AR-tekniikka tehostaa työntekoa (kokoonpanoa) näyttämällä asennettavan osan oikeassa paikassa. Tuottamaton pohdinta jää pois. Myös oikean suoritusjärjestyksen näyttäminen tekee työskentelystä tehokkaampaa.

## 6. Kansainvälinen ja kansallinen yhteistyö

### 6.1 The Human Interface Technology Laboratory New Zealand (HIT Lab NZ)

Projektin aikana Mika Hakkarainen suoritti tutkijavierailun 2.9.2007–26.4.2008 Uudessa-Seelannissa sijaitsevassa HIT Lab NZ -organisaatiossa ([www.hitlabnz.org](http://www.hitlabnz.org)). Se on lisätyn todellisuuden yksi tunnetuimmista yksiköistä maailmalla. HITLab NZ on perustettu vuonna 2003, ja se toimii Christchurchissa University of Canterburyn tiloissa (kuva 14). HITLab NZ toimii Washingtonin yliopiston (Seattle) alaisuudessa.



Kuva 14. HIT Lab NZ, Old Maths Building, University of Canterbury, Christchurch, Uusi-Seelanti.

## 6. Kansainvälinen ja kansallinen yhteistyö

Yksikön vetäjänä toimii professori Mark Billinghurst. Hän on yksi AR-alan keskeisimpiä vaikuttajia ja muun muassa yksi ArToolkit-kirjaston alkuperäisistä kehittäjistä. HIT Lab -organisaation kansainvälisenä vetäjänä toimii Tom Furness III.

Tutkijavierailu jakautui projektillisesti kahteen osaan. Ensimmäisellä puoliskolla tavoitteena oli toteuttaa lisätyn todellisuuden (AR) sisällöntuotantotyökalusta ensimmäinen versio (syys–joulukuu 2007). Ohjelmisto toteutettiin AugAsse-projektin vaatimukset huomioiden ja alun perin ko. toteutus suunniteltiin otettavaksi käyttöön projektissa. Toteutus tehtiin kuitenkin niin, että myös isäntäorganisaatio voisi hyödyntää sovellusta.

Toisena tehtävänä oli tukea AugAsse-projektia kehittämällä yhdessä HIT Labin kanssa AR-sovellusta mobiiliin päätelaitteeseen, tässä tapauksessa matkapuhelimeen (tammihuhtikuu 2008). Tästä on jo kerrottu luvussa 4.3.

### 6.2 University of Cambridge

Johanna Mela suoritti tutkijavierailun 2.5–27.11.2008 Cambridgen yliopistossa (Englanti). Tutkijavierailuun sisältyi myös käynti Stanfordin yliopistossa (Yhdysvallat). Hänen työnsä tavoitteena oli kehittää menetelmä AR-teknologiaa hyödyntävien sovellusten integroimiseksi yrityksen toimintaan siten, että niiden avulla voidaan saavuttaa kustannussäästöjä tai arvontuottoa yrityksen liiketoiminnassa. Tarkemmin Johanna Melan tutkijavierailusta kerrotaan liitteessä D.

### 6.3 ISMAR-konferenssit

Projektin aikana osallistuttiin kolmeen ISMAR-konferenssiin (*International Symposium of Mixed and Augmented Reality*). Kyseessä on tärkein vuosittain järjestettävä AR-alan konferenssi maailmassa. Konferenssipaiikat ja osallistujat olivat

- ISMAR2006, Santa Barbara, CA, USA, Oct. 22–25 2006. Konferenssin erityisintona olivat neuvottelut Mark Billinghurstin kanssa tulevasta Uuden-Seelannin tutkijavaihdosta sekä alustavat yhteistyökeskustelut TUM:n kanssa, minkä seurauksena järjestettiin vierailu heille kesällä 2007.
- ISMAR2007, Nara, Japan, Nov. 13–16 2007. Konferenssin merkittäväntä antia oli markkerittoman trackingin alalla tehty tuore kehitystyö. Yleisesti ottaen TUM oli konferenssissa johtava tutkimuslaitos yhteensä seitsemällä artikkelilla.
- ISMAR2008, Cambridge, UK, Sept. 15–18 2008. Markkerittoman trackingin menetelmät olivat tässä konferenssissa viety jo kännykkätoteutuksiin, josta parhaan paperin palkinto myönnettiin TU Grazin ja Cambridgen tutkijoille. Konferenssissa oli mukana myös AugAssen Uuden-Seelannin tutkijavierailun yhteydessä tehty kännykkäaiheinen posteritikkeli.

## 6.4 Muut vierailut

Kesäkuussa 4.–6.6.2007 tehtiin vierailumatka Saksaan. Vierailukohteet olivat

Fraunhofer IGD (Institut für Graphische Datenverarbeitung) ja ZGDV (Zentrum für Graphische Datenverarbeitung), Darmstadt. Tutustuttiin monipuolisesti IGD:n ja ZGDV:n AR-sovelluksiin, muun muassa BMW:lle kehitettyyn augmentoituun huollopastusjärjestelmään sekä MARIO-sisällöntuotantotyökaluun. Woodward piti esitelmän lisätyn todellisuuden työstä VTT:ssä. Sovittiin yhteydenpidosta myös jatkossa, minkä tuloksena järjestyi muun muassa ZGDV:n Holger Grafin vierailuluento NordDesignissa 2008 ja käytiin keskusteluja yhteisistä EU-projektivalmisteluista tulevaisuudessa.

Technische Universität München (TUM). Tutustuminen TUM:n AR-sovelluksiin. Erityisen mielenkiintoista oli TUM:llä tehty työ markkerittoman trackingin alalla. Woodwardin AR-esitelmä sai hyvän vastaanoton. Sovittiin yhteydenpidosta myös jatkossa, ja mahdollinen tutkijavaihto sopivassa projektissa tuli esille.

## 7. Yhteenveto

Ihmisen joustavuus ja taidot yhdistettynä tietokoneeseen muodostavat tehokkaan kokonaisuuden. Ihminen voi suorittaa monimutkaisen kokoonpanon ilman, että hänen täytyy kuluttaa energiaa ja kapasiteettia kokoonpanojärjestyksen ja osien miettimiseen. Näin kokoonpanija voi keskittyä varsinaisen työtehtävän hoitamiseen. AR-sovellus voidaankin katsoa askeleeksi kohti kokoonpanon automatisointia.

AR-teknologia on uusi vuorovaikutteinen keino ihmisen ja koneen kanssakäymiseen. Digitaalista tietoa voidaan näyttää käyttäjälle yhdistettynä oikeaan ympäristöön. Tieto voi olla tekstitietoa, kuvia, 3D-malleja tai muuta visualisoitavaa materiaalia. AR-teknologian avulla näytettävä tieto kohdistetaan todellisessa ympäristössä oikeaan kohtaan: osaan liittyvä tieto näytetään tarvittaessa esimerkiksi osan päällä ja työkaluun liittyvä tieto vastaavasti työkalun päällä. Samoin näytetään vain ko. tehtävään liittyvä tieto.

Projektissa kartoitettiin aluksi AR-laitteiden nykytilanne. Testilaitteiksi valittiin MicroOptical SV-6 PC Viewer -silmikkonäyttö ja Logitech QuickCam -kamera. Projektissa kehitettiin yleinen menetelmä, jonka avulla kaupallisilla CAD-ohjelmilla luoduista tuotteen 3D-mallista generoidaan AR-ohjeet. Tutkimustapauksena oli aluksi yksinkertainen kolmiulotteinen palapeli ja sitten käytännön esimerkkinä Valtran traktorin voimansiirto-osa, ns. hydraulikkablokki.

Kehitetyssä menetelmässä tuotteen geometriamallia kevennetään ja tuotteen osat ryhmitellään fyysisiksi osiksi tai komponenteiksi, joita työntekijä käsittelee kokoonpanotehtävässä. Eri työvaiheille määritetään käytettävät työkalut ja ohjeistetaan työvaiheet. Samalla tehdään tarvittaessa kokoonpantavuusanalyysi. Tämän jälkeen osille luodaan animaatiot, jotka näyttävät, miten osat asennetaan kokoonpanoon.

Projektissa tutkittiin myös sitä, kuinka nykyaikaisia älypuhelimia voidaan hyödyntää lisätyn todellisuuden päätelaitteina. Luotaessa AR-ohjeistusta älypuhelimille menetelmä on erilainen, sillä älypuhelimien kapasiteetti on rajallinen. Älypuhelimien tutkimustapauksena toimi myös edellä mainitun kaltainen kolmiulotteinen palapeli.

Tutkimustapaukset testattiin käyttäjäkokeilla. Kolmiulotteisen palapelin käyttäjäkokeissa ilmeni, että AR-ohjeet soveltuvat hyvin tämän tyyppisen komputehtävän ratkaisemiseen sekä silmikko-kamerayhdistelmällä että älypuhelimella. Hydraulikkablokin

tapauksessa Tampereen teknillisessä yliopistossa tehtiin keväällä 2008 opiskelijoille koe, jossa testattiin demonstraatiojärjestelmää. Kokeeseen osallistui kolmen viikon aikana 89 henkilöä (74 miestä ja 15 naista). Hydraulikkablokki kokoonpantiin paperiohjeilla (kokonpanokuva, osaluettelo, kokoonpano-ohje) ja tietokoneella näytettävillä AR-ohjeilla. Kokeessa verrattiin paperiohjeilla ja AR-ohjeilla suoritettuja kokoonpanoja tarkastelemalla muun muassa kokoonpanoaikaa ja virheiden määrää. Tulokset olivat merkittäviä. Kokoonpano nopeutui 15 % ja virheiden lukumäärä väheni 84 %. Tuloksista tarkemmin on julkaisussa ”Augmented Reality Efficiency in Manufacturing Industry: A Case Study. NordDesign 2008”.

Käyttäjäkokeiden perusteella AR-tekniikan suurimmat ongelmat ovat laitteisto- puolella. Silmikkonäytöt koettiin hankaliksi (paino, näytön kohdistus silmälle, johdot). Kehitteillä on kuitenkin uusia ja parempia laitteita, ja varsinkin viihde- ja peliteollisuuden panostuksen myötä laitteiden hinnat laskevat tulevaisuudessa nopeasti.

Tutkimuksen aikana havaittiin myös, että käytännön kokoonpanotehtävissä markkerit jäävät helposti joko kokonaan tai osittain peittoon. Tällöin niitä ei voida käyttää paikan ja orientaation laskentaan. Näin ollen markkereiden sijoittelu on tehtävä huolella, ja niitä on oltava useita.

Idealisena menetelmänä nähtiin mallipohjainen sovitus. Siinä virtuaalimalleja ja niitä vastaavia kuvahavaintoja sovitetaan toisiinsa ja etsitään samalla kameran ja kappaleen välistä transformaatiota. Tekniikka on kuitenkin uutta ja vasta perustutkimuksen alla, eikä VTT:llä ole vielä valmista menetelmää käytössään. Vaihtoehtoisena menetelmänä voitaisiin kokeilla retroreflektiivisten kohteiden liimaamista kokoonpantavan tuotteen asennusalustaan, jolloin kameraan kiinnitetyt (lähi-) IR-ledit valaisisivat niitä ja tekisivät piirteiden tunnistuksesta ja segmentoinnista yksinkertaista. Tämä lähestymistapa soveltuisi myös koulutuskäyttöön, sillä retroreflektiiviset tarrat voitaisiin liimata myös kokoonpantaviin osiin.

Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia lisätyn todellisuuden hyödyntämistä kokoonpanotyössä ja samalla luoda suomalaiselle metalliteollisuudelle valmiuksia AR-tekniikan käyttöönottoon. Lisättyä todellisuutta voi hyödyntää myös monella muulla alalla kuten koulutuksessa, hitsauksessa, huollossa ja ylläpidossa. Esimerkiksi huollossa työntekijä tekee tehtäviä usein ensimmäistä kertaa, joten AR-pohjaisista ohjeista olisi todella apua. Vastaavasti AR-ohjeiden käyttö koulutuksessa on hyvin havainnollista ja tehokasta.

Tutkimus osoitti, että kokoonpanoa voidaan kehittää merkittävästi AR-tekniikan avulla. Tutkimukseen osallistuneet partnerit saivat paljon uutta tietoa AR-tekniikasta, ja teollisuusyritykset saivat tietoa siitä, kuinka ne voivat hyödyntää uutta tekniikkaa verkottuneessa, globaalissa ympäristössä. Varsinkin kehittyvien maiden pienet yksikkökustannukset haastavat kehittyneiden maiden taloudet lisäämään valmistavan teollisuuden tehokkuutta.

Projektissa syntyneet julkaisut on listattu liitteessä A.





## Liite A: Julkaisuluettelo

- Salonen, T., Sääski, J., Hakkarainen, M., Kannelis, T., Perakakis, M., Siltanen, S., Potamianos, A., Korkalo, O. Woodward, C. Demonstration of assembly work using augmented reality. Proceedings of the 6th ACM International Conference on Image and Video Retrieval (CIVR '07). Amsterdam, The Netherlands, 9–11 July 2007. ACM Press. New York (2007). S. 120–123. <http://doi.acm.org/10.1145/1282280.1282301>.
- Salonen, T. Förstärkt verklighet förnyar monteringsindustrin. Forum Finland -lehti Nro 3/2007. <http://www.finsk-svenska.com/fi/>.
- Augmented Reality Based Technologies for Supporting Assembly Work. 6th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation, 9–13 Sept. 2007, Ljubljana, Slovenia, <http://www.eurosim2007.org/>. (Julkaisu esitettiin posterina, joka voitti paras posterin-äänestyksen.)
- Siltanen, S., Hakkarainen, M., Korkalo, O., Salonen, T., Sääski, J., Woodward, C., Kannelis, T., Perakakis, M., Potamianos, A. Multimodal User Interface for Augmented Assembly. IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing, MMSP2007. Chania, Greece, 1–3 Oct. 2007. 4 s.
- Sääski, J., Salonen, T., Liinasuo, M. Kuution kokoaminen AR-tekniikan avulla. 2008. VTT, Espoo. VTT Working Papers 89. ISBN 978-951-38-7148-2. 27 s. + liitt. 1 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2008/W89.pdf>.
- Salonen, T., Sääski, J. Dynamic and Visual Assembly Instruction for Configurable Products Using Augmented Reality Techniques. ICADAM2008, Sanya, China, 14–16 January 2008.
- Pyykkö, T. Lisätyn todellisuuden hyödyntäminen kokoonpanossa. DI-työ, Tampereen Teknillinen Yliopisto, Helmikuu 2008.
- Solutions from VTT Augmented Reality. VIMATION Journal lehti (the European Virtual Institute for Human Machine Interaction and Models in Production).
- Integration of Design and Assembly Using Augmented Reality: IPAS 2008, Chamonix, France, 10–13 February 2008. <http://www.ipas2008.org/>.
- Testing Usability of Augmented Reality in Manual Assembly: TMCE 2008, April 21–25, 2008, Izmir, Turkey. <http://www.tmce.org/>.
- Kauppalahden liite 28.3.2008 artikkeli: Lisätty todellisuus tuo vauhtia kokoonpanoon.
- Tekniikka ja Talous, 10.4.2008 artikkeli: Datalasit moninkertaistavat tuotannon <http://www.tekniikkatalous.fi/tk/article76839.ece>.

Liite A: Julkaisuluettelo

Augmented Reality Efficiency in Manufacturing Industry: A Case Study. NordDesign 2008, Tallinn 21–23 August 2008. <http://innomet.ttu.ee/norddesign2008/>.

Augmented Assembly using a Mobile Phone. ISMAR2008, Cambridge 15–18 September 2008. <http://ismar08.org/>.

Economic evaluation of the use of augmented reality in assembly processes. Swedish Production Symposium, Stockholm 18–20 November 2008. <http://www.sps08.se/>.

Tehdas kuin tietokonepeli, Tiede-lehti 1/2009.

Data Pipeline from Cad to AR Based Assembly Instructions. ASME/AFM 2009 World Conference on Innovative Virtual Reality, Chalon-sur-Saône, France, 25–26 February 2009.

Salonen, T., Sääski, J., Woodward, C., Hakkarainen, M., Korkalo, O., Rainio, K. Augmented Assembly – Ohjaava Kokoonpano Loppuraportti. VTT Working Papers 138, 2009.

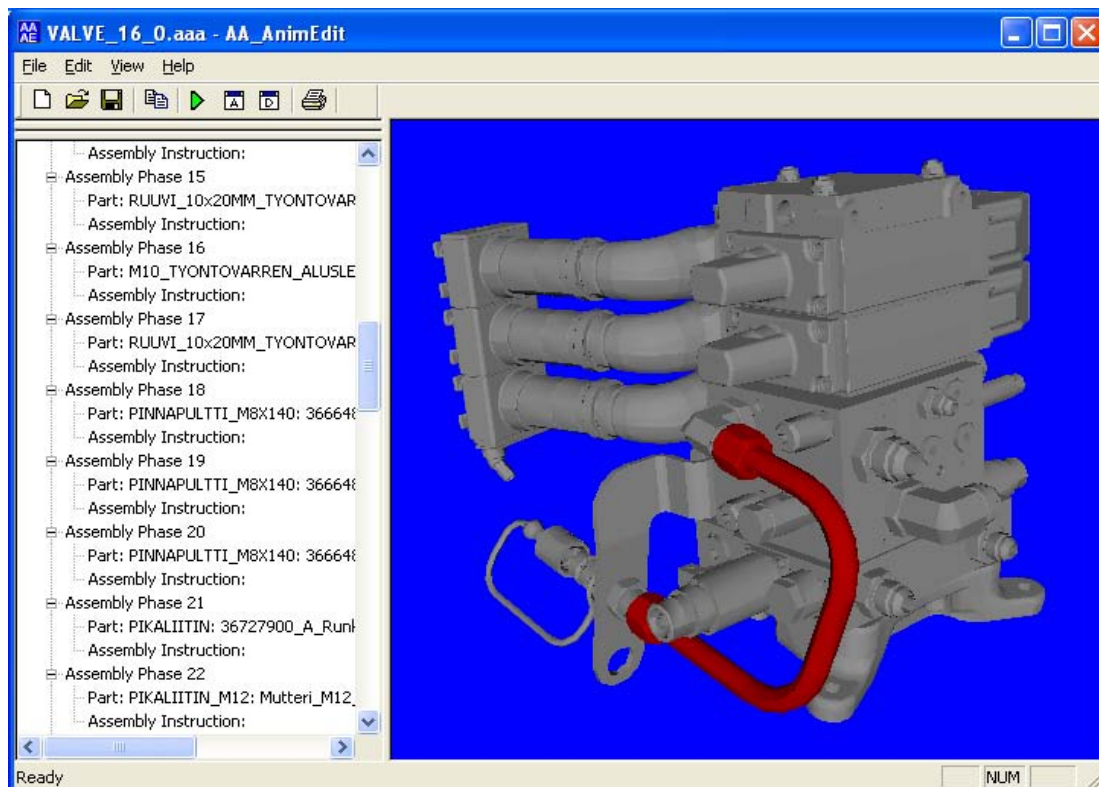
## Liite B: VTT:n ohjelmien käyttöohje

### Sisällöntuottaminen: animaatioeditori AugAsseAnim

AugAsseAnim-ohjelmaa käytetään laitteiden kokoamista demonstroivien animaatioiden tekemiseen graafisen käyttöliittymän kanssa. 3D-visualisaatiota tekevä ohjelman osa on tehty käyttäen OpenSceneGraph-ohjelmakirjastoa (OSG), joka on avoimen lähdekoodin grafiikkakirjasto.

Lähtötiedostoina ohjelma käyttää kahta XML-tiedostoa. Ensimmäisessä on kokoonpanon rakenne ja osien kolmioitu geometria. Toisessa on työvaihejärjestys, ja mukana on kuhunkin työvaiheeseen liittyvä ohjeistus. Ohjelma tuottaa XML-tiedoston, joka on valmis työohje. AugAsseVis-ohjelma näyttää kokoonpanijalle tehdyt animaatiot augmentoituna kokoonpanoympäristössä.

Ikkunan vasemmassa laidassa on DFA Tool -ohjelman luoma työvaihepuu (kuva B1). Siinä esitetään työjärjestys peräkkäisten vaiheiden listana. Puun solmuina ovat laitteen osat (nimi ja ID), jotka asennetaan kussakin työvaiheessa. Myös työvaiheeseen liittyvät ohjetekstit näytetään. Grafiikkaikkunassa mallia voi katsella eri suunnista.



Kuva B1. AugAsseAnim-ohjelman näkymä. Valittu osa näkyy punaisena.

Animaatiot määritellään erillisessä ponnahdusikkunassa. Sitten valitaan työvaihe ja avataan oikea ponnahdusikkuna. Työvaiheeseen liittyvän osan animointi tehdään määrittämällä sille kontrollipisteet. Ne ovat aikaan sidottuja koordinaattipisteitä, rotaatioita ja skaalauksia. Jokaiseen kontrollipisteeseen määritellään siis ajanhetki (sekuntia animaation alusta). Näitä ajanhetkiä käytetään, kun animaatio esitetään: osan paikka, asento ja skaala interpoloidaan kontrollipisteiden välillä. Kaikki koordinaatit esitetään suhteessa osan lopulliseen paikkaan kokoonpanossa. Kaikki koordinaatit, kulmat ja skaalat annetaan numeroina. Osa voidaan animoida heti annettujen kontrollipisteiden kautta, jolloin käyttäjän on helppo nähdä animaation hyvyys.

Sen lisäksi, että ohjelmalla voidaan määritellä animaatioita asennettaville osille, ohjelmalla voidaan myös määritellä animaatioita työkaluille. Työkalujen 3D-mallit luetaan erillisestä tiedostosta. Tällä tavalla voidaan havainnollistaa työvaiheeseen liittyvien työkalujen käyttöä.

Kun animaatiot on määritelty jokaiselle työvaiheelle, koko kokoamisprosessi voidaan simuloida. Käyttäjä voi mennä mihin tahansa työvaiheeseen käyttöliittymän liukukontrollilla ja nähdä tuohon vaiheeseen määritellyn animaation tai sitten simuloida koko kokoonpanoa. Jälkimmäisessä tapauksessa ohjelma etenee työvaiheesta seuraavaan automaattisesti (käyttäjän määrittelemässä tahdissa), ja kuhunkin työvaiheeseen liittyvä animaatio esitetään. Näin voidaan katsella esitystä, jossa koko laite kootaan. Määritellyt animaatiot tallennetaan ohjelman omassa tekstipohjaisessa formaatissa.

## Augmentointi

AugAsseAnim-ohjelmassa animoitu kokoonpano visualisoidaan projektissa kehitetyllä AugAsseVis-nimisellä ohjelmalla. Ohjelma perustuu OpenSceneGraph-grafiikkakirjastoon sekä VTT:ssä kehitettyyn lisätyn todellisuuden ALVAR-ohjelmakirjastoon, ja se on tarkoitettu käytettäväksi Windows XP -ympäristössä. Ohjelmaa käytetään tavallisella PC:llä, johon on kytketty USB-kamera. Näyttölaitteena voidaan käyttää joko tavallista monitoria tai silmikkonäyttöä, johon kameran tulee olla kiinnitettynä. Ohjelmaa voidaan käyttää myös tabletti-PC:n kanssa (esim. Sony VAIO), jolloin kamera ja näyttölaite kuuluvat yhteen.

AugAsseVis lukee AugAsseAnim-ohjelman tallentaman XML-muotoisen tiedoston, joka kuvaa kokoonpanoa vastaavan virtuaalisen esityksen. Tiedosto pitää sisällään viitteen \*.osg tai \*.ive-muotoiseen objektitiedostoon, objektin asemoinnin suhteessa mallin origoon, animaatiot sekä tekstimuotoisen työohjeen.

AugAsseVis-ohjelmassa kameran paikan laskenta eli *tracking* perustuu markkereiden käyttöön. Kun kameran paikka tunnetaan suhteessa markkeriin, voidaan virtuaaliset objektit liittää oikeille paikoilleen sekä oikeisiin asentoihin ja skaaloihin. Tässä tapauksessa markkerit ovat neliönmuotoisia paperille printattuja kuvia, joiden sisällä on datamatriisi. Datamatriisi kertoo markkerin yksilöllisen ID:n, ja neliön kulmia käytetään

paikan laskennassa. Yhden markkerin sijaan voidaan useita markkereita koostaa niin sanotuksi *marker fieldiksi*. Tällöin riittää, että osa markkereista näkyy kerralla kameralle.

Markkeripohjaisen paikoittamisen lisäksi ohjelmassa voidaan soveltaa piirrepohjaista paikoitusta, jossa 3D-malli asemoidaan paikoilleen pelkkien videokuvasta tunnistettavien luonnollisten piirteiden avulla. Erityisesti menetelmästä on apua silloin, kun yksikään markkereista ei ole kokonaan näkyvillä. Näin voi tapahtua kokoonpanossa etenkin, jos markkerit ovat kiinni kokoonpantavissa osissa.

Eri työvaiheet esitetään augmentoituna videokuvan päälle, jolloin käyttäjä voi nähdä kokoonpano-ohjeen intuitiivisesti kolmiulotteisena. Työvaiheen 3D-malli voidaan näyttää pinta- tai rautalankamallina. Osan animoitu liike ohjaa tehokkaasti osan asentamista: käyttäjä hahmottaa nopeasti, mitä pitää tehdä. Lisäksi osaa on korostettu piirtämällä rajaava kuutio (*bounding box*) sen ympärille. Tällöin myös kokoonpanon taakse tuleva komponentti havaitaan. AugAsseVis-ohjelmalla voidaan esittää joko vain seuraavaa työvaihetta vastaava osa tai kaikki osat kerralla, mukaan lukien uusin. Lisäksi voidaan valita, että edelliset työvaiheet maskaavat uusimman osan. Tällöin hydraulikkablokin osat vaikuttavat peittävän ja leikkaavan virtuaalisen objektin todellisen kaltaisesti. Augmentoidun grafiikan lisäksi käyttäjälle esitetään tekstimuotoinen työohje, jossa selostetaan yksityiskohtaisesti työvaiheen tehtävät.

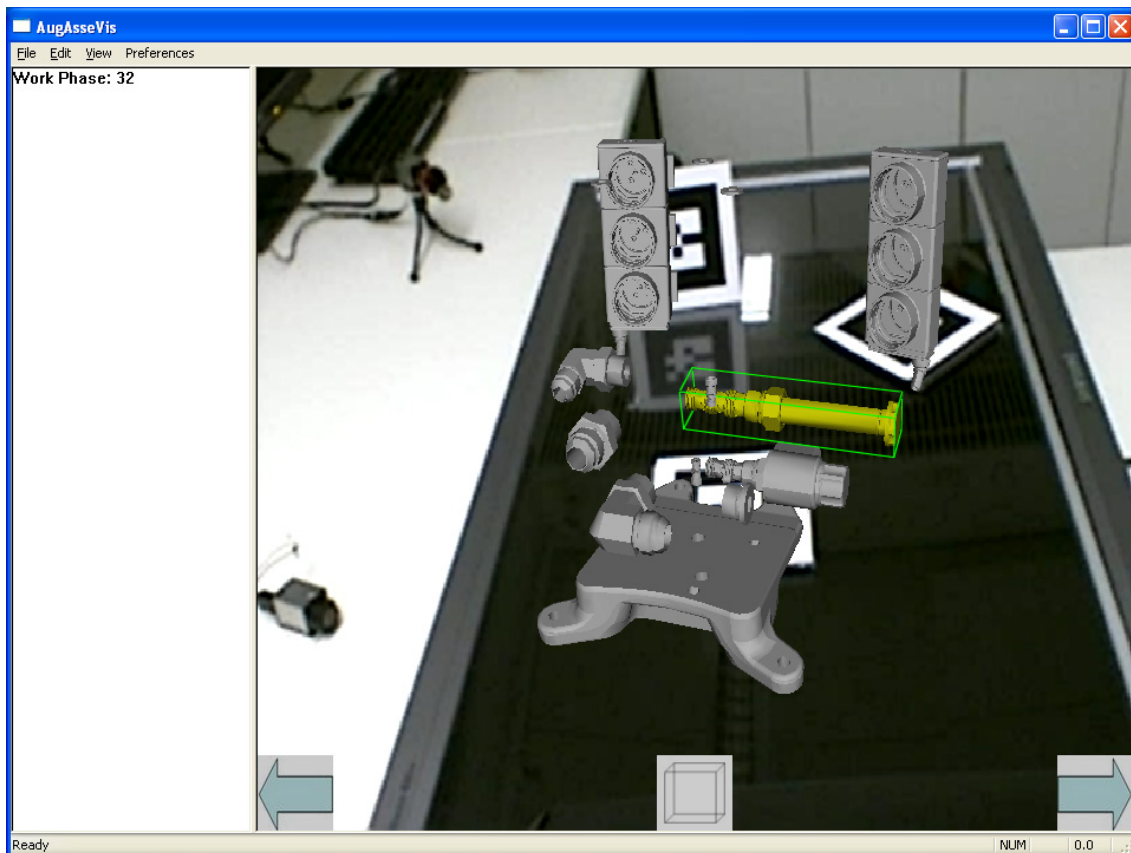
Ennen ohjelman käyttöönottoa käytettävä kamera tulee kalibroida. Kalibrointi suoritetaan VTT:n kehittämällä CamCalibrater-ohjelmalla.

## Käyttöliittymä

AugAsseVis-ohjelman käyttöliittymä jakautuu kahteen osaan, joista vasemmanpuoleinen tekstikenttä on varattu ohjeteksteille. Oikeanpuoleinen videoikkuna näyttää puolestaan kameralta tulevaa kuvaa, johon virtuaaliobjektit augmentoidaan. Lisäksi oikeanpuoleisessa näytössä on muutamia kuvakkeita ohjelman kontrollointia varten (kuva B2).

Ohjelman päämenussa on neljä valikkoa: *File*, *Edit*, *View* ja *Preferences*. Näistä oleellisimmat ovat *File* ja *Preferences*. *File*-valikossa on kolme alavalikkoa, joista *Load work* avaa dialogin uuden projektin avaamiseksi ohjelmaan. *Load camera calibration file* -valikon kautta voidaan vaihtaa käytetyn kameran kalibrointitiedosto. *Exit* lopettaa ohjelman. *Preferences*-valikossa on puolestaan yhdeksän alavalikkoa, joilla voidaan vaikuttaa virtuaalisten objektien renderöinnin parametreihin, trakkäykseen jne.

Perustoteutuksessa käyttäjän vastuulla oli siirtyä työvaiheiden välillä, jolloin seuraavan työvaiheen ohjeistus esitettiin tekstimuodossa ja augmentoidun virtuaaliobjektin avulla. Työvaiheesta toiseen siirryttiin pikanäppäinten avulla tai klikkaamalla käyttöliittymän ikoneita.

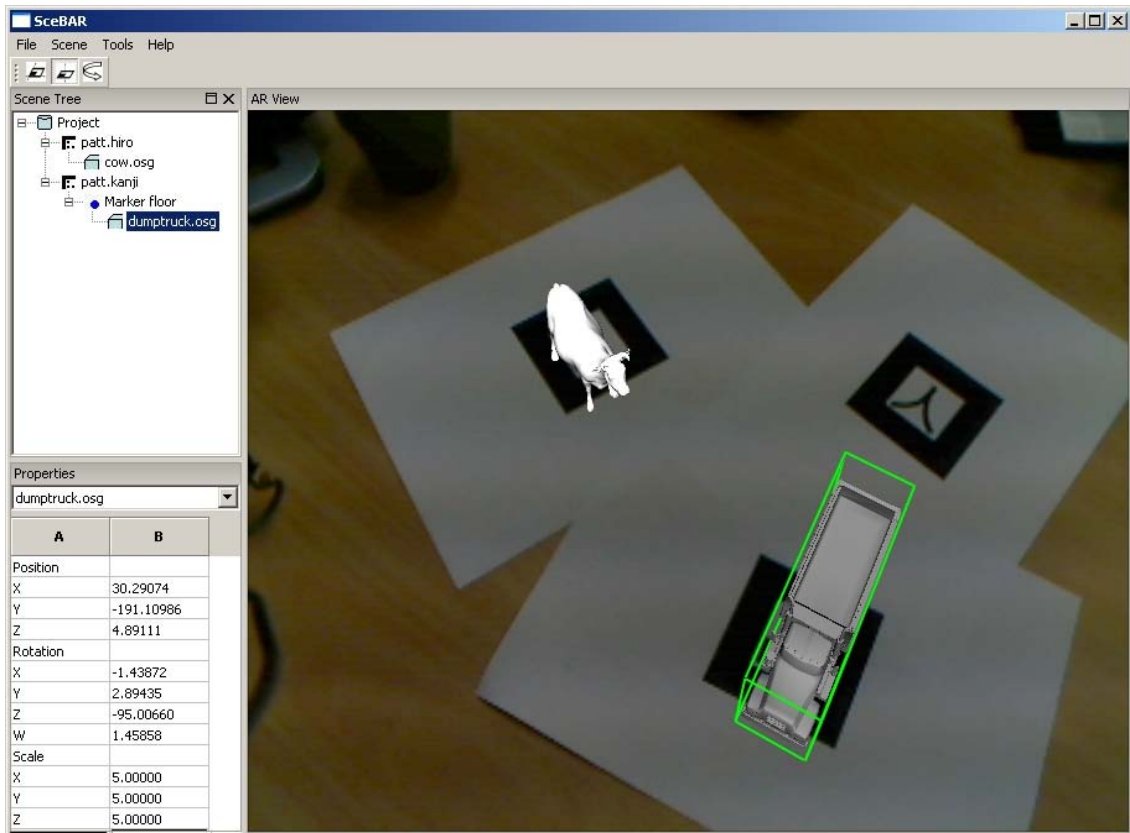


Kuva B2. AugAsseVis-ohjelman käyttöliittymä. Vasen osa on varattu eri työvaiheisiin liittyville tekstimuotoisille ohjeille ja oikea videon piirtoon ja augmentointiin. Työvaiheesta toiseen siirrytään klikkaamalla kuvan alalaidan nuolinäppäimiä.

### **Sisällöntuotanto (Scene Builder of AR; SceBAR)**

Perinteisesti lisätyn todellisuuden sovellukset on suunniteltu tapauskohtaisesti, ja sisältö sovelluksiin on yleensä tehty käsin esimerkiksi tekstitiedostoja tuottamalla. Yleiskäyttöinen ja multimodaalinen sovellus tekisi tapauskohtaisesta sisällön tuottamisesta helpompaa niille, jotka eivät tunne lisätyn todellisuuden teknologiaa kovin hyvin. Mahdollisuus AR-elementtien lisäämiseen visuaalisella käyttöliittymällä ja niiden hallitsemiseen ilman ohjelmointikokemusta yksinkertaistaa ja nopeuttaa sisällöntuotantoa sekä samalla laajentaa käyttäjäkuntaa.

Toteutettu ohjelma on ensimmäinen versio yleiskäyttöisestä sisällöntuotantotyökalusta. Ohjelman toteutuksen yhteydessä ei keskitytty mihinkään yksittäiseen kohteeseen, vaan ohjelman tuli tukea niin taiteen tekemistä kuin kokoonpanon ympäristöä. Ohjelman tuottama kuvaus on siten käytettävissä tapauskohtaisesti eri sovelluksissa. Kuvausta testattiin vuoden 2008 puolella toteutetussa lisätyn todellisuuden kokoonpanon sovelluksessa.



Kuva B3. SceBAR-ohjelmiston käyttöliittymä.

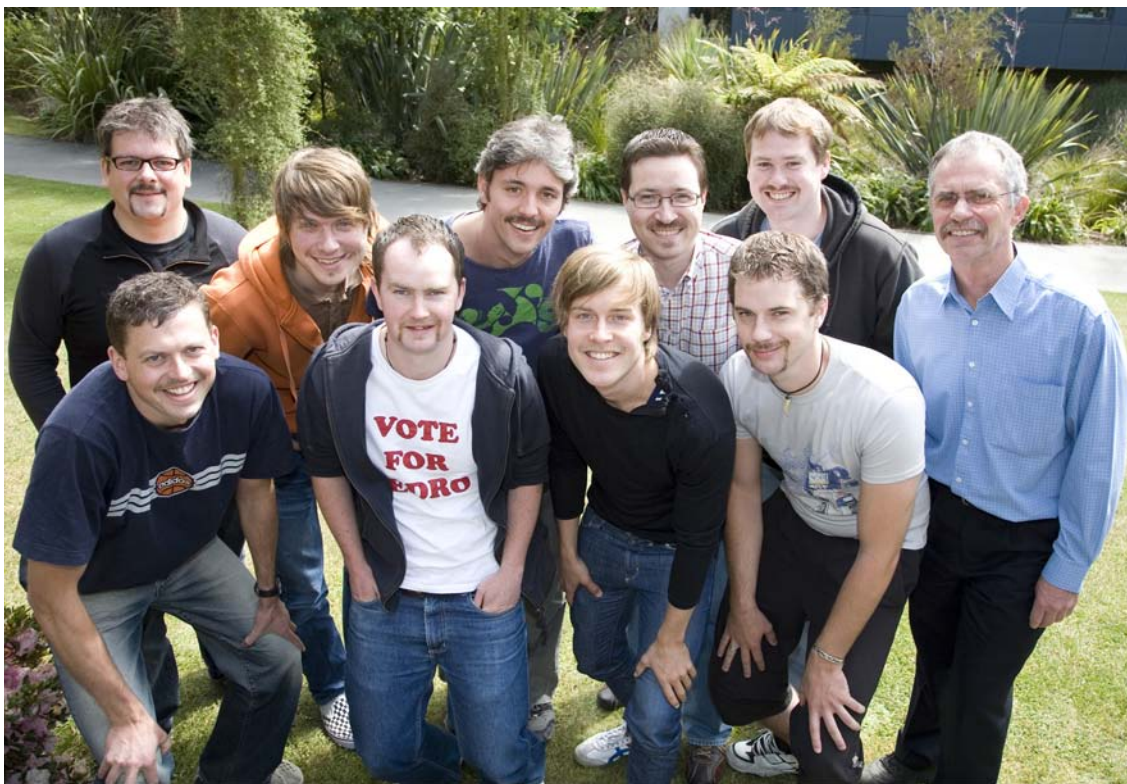




## Liite C: The Human Interface Technology Laboratory New Zealand (HIT Lab NZ)

HIT Lab NZ on hyvin kansainvälinen organisaatio. Sen viiden toimintavuoden aikana yksikössä on vierailut yli 150 henkilöä. Tutkijavierailumatkan aikana yksikössä oli vaihto-opiskelijoita ja tutkijoita muun muassa Saksasta, Ranskasta, Itävallasta, Ruotsista, Yhdysvalloista ja Brasiliasta. Mika Hakkarainen oli ensimmäinen suomalainen vierailija.

Vierailun aikana Mika Hakkarainen piti esitelmät yksikön henkilökunnalle ja yliopiston lisätyn todellisuuden kurssin opiskelijoille VTT:n sovelluksista ja tutkimuksesta lisätyn todellisuuden alalta. Lisäksi vierailun aikana järjestettiin kaksi ns. Open House -tapahtumaa sekä kaksi seminaaria, joiden yhteydessä esiteltiin VTT:n sovelluksia ja tutkijavierailumatkan aikana toteutettuja ohjelmistoja. Vierailun aikana tutustuttiin yksikön työntekijöihin ja opiskelijoihin, josta moni on juuri väitellyt tai väittelemässä. Mika Hakkarainen osallistui myös hyväntekeväisyyteen yksikön miespuolisten työntekijöiden kanssa. Varsinkin Uudessa-Seelannissa ja Australiassa marraskuu tunnetaan Movember-nimellä. Movember-kuukauden aikana kasvatetaan viikset ja kerätään rahaa erityisesti eturauhastutkimukseen sekä pyritään saamaan huomiota miesten terveydelle.



Kuva C1. Movember-tapahtuman päätöskuva.

Tutkijavierailun ohjelmaan kuului toki muutakin kuin pelkkää ohjelmointia ja sovelluskehitystä. Mikalla oli vierailulla mukana vaimo ja lapset (2 ja 4 v.). Perhe tutustui matkan aikana Christchurchiin ja uusiin ihmisiin. Viikonloppujen ja lomien aikana he tutustuivat eteläsaareen junalla ja autolla matkustaen, samoin länsirannikon vehreyteen ja eteläsaarta halkoviin vuoristomaisemiin. Perhe tutustui myös paikalliseen suomalaiseen yhteisöön. Eteläsaarella asuu noin kolmekymmentä perhettä, joissa toinen puoliso on Suomesta. Varsinkin näiden perheiden lasten oli mukava tavata muita suomea puhuvia lapsia ja päästä ylläpitämään kielitaitoaan.

## Liite D: Researcher visit at the University of Cambridge

Researcher visit period in the University of Cambridge was included to Augmented Assembly project. Aim was to complete the knowledge about the design management, usability, and technology transfer issues in the field of Augmented Reality technologies and solutions. Researcher and PhD candidate Johanna Mela spent 7 months in the UK working as a part of EDC research group. The research question was “how to integrate AR tools for company practices and industrial environments in a way which creates business value to the company?” The foremost goal then was to define the prerequisites for integrating Augmented Reality to existing industrial solutions and technology base in a way that supports company’s business goals.



Visit period was carried out in Engineering Design Center (Department of Engineering) managed by Professor John Clarkson. EDC is widely respected design research unit in the heart of the Cambridge campus area. It is well known for its high profile research work in the field of design sciences. EDC undertakes innovative research to create understanding, methods and tools that will contribute to improving the design process. The main research fields in EDC are:

- [Knowledge Management](#)
- Capture, storage & retrieval of Engineering knowledge
- [Process Management](#)
- Modelling the design process
- [Change Management](#)
- Modelling change in products
- [Computational Design](#)
- Integrated optimisation
- [Healthcare Design](#)
- Design for patient safety
- [Inclusive Design](#)
- Countering design exclusion
- [Design Practice](#)
- Understanding and comparing practice
- [Service Design](#)
- Integrated Product and Service Design.



Liite D: Researcher visit at the University of Cambridge

EDC promotes the importance of effective engineering design and is co-operating with the companies such as: Rolls-Royce (UK), BT, Volvo Trucks (Sweden), BP (UK), Romax Technology (UK), Bosch (Germany), Federal Drugs Administration (USA), GKN Aerospace (UK), Cedar Point (USA), and Motorola (USA).

Examination of design management issues in Augmented Assembly project is a critical part of making AR technology available for industrial companies. The research visit examined strategic perspective as well as technology and application maturity issues around the subject. The prerequisites/requirements for defining and creating value from the Augmented Reality -based tools were examined. International networking was also one of the important aspects in order to bring the latest AR research knowledge into use for Finnish industry sector. Understanding about how AR solution is fitted into certain industrial use case containing wide variety of requirements arising from the needs of the company and individuals, worked as a generic template to the research. That is why the Inclusive Design aiming to improve design accessibility, usability and utility was chosen as the main research scope in EDC. People using Augmented Reality in their work have different needs, capabilities, and cultural backgrounds and Inclusive Design aims to connect the user orientation to the design management process. The Inclusive Design Toolkit from was connected to the business oriented design management framework created by Riitahuhta research group in Tampere University of Technology. Emphasis was to make products that better corresponds the needs of the company.

### **Working in EDC Cambridge**

The research visit program included CIFE-visit Stanford University, researcher visit period in University of Cambridge EDC 2.5–27.11.2008 and attendance in ISMAR 2008 (IEEE and ACM International Symposium of Mixed and Augmented Reality). Charles Woodward and Mika Hakkarainen from Augmented Assembly team presented a poster together with Professor Mark Billinghurst in ISMAR. Poster was titled “Augmented reality using mobile phones”.

First three months of the researcher visit Johanna attended to joint EDC talk days and meetings, examined the wide variety of EDC publications and discussed about the design issues with colleagues and professor Clarkson. Based on that, the decision to concentrate in Inclusive Design issues was made. A wide variety of research publications and news considering Augmented Reality technologies was examined in that time. The atmosphere in the EDC was multi cultural and positive. PhD students and visitors from all over the world worked in open office type of spaces. Researchers were very concentrated on their own work and social interaction mostly took place during the lunch hours and after working hours. As a comparison to Finnish research societies the research in EDC appeared to be quite often highly in a theoretical and fundamental level.

In the autumn Johanna had gathered enough material to start writing the research report. During that time Johanna discussed with wide variety of professionals in different research fields and gathered material for the report. Forming a “landscape” about the Augmented Reality as a research field turned to be a challenging task. As can be seen from the research report, AR includes wide scope of different technological fields from tracking and display technologies to psychological issues. Usually researchers concentrate on one of the subjects of Augmented Reality. This time the goal was to form a comprehensive landscape of the whole AR field and its possibilities.

During the visit Johanna also became acquainted with the Augmented Reality research team managed by Dr Gerhard Reitmayr and Dr Tom Drummond. The research group was separate unit and part of the Information Engineering division in EDC. Team was comparatively small with 4–6 people working around AR subject.



Figure D1. Dr. Gerhard Reitmayr in his AR research laboratory.

The main Augmented Reality research areas of Reitmayr’s team are AR user interfaces, wearable computing, ubiquitous computing environments and the integrations of these. Research directions include computer vision techniques for localisation/tracking and interaction methods. Current AR research (in 2008) includes

- natural feature tracking (on mobile phones)
- hybrid tracking system for outdoor environments
- augmented maps
- SLAM for annotations and user interaction.

Also robust filtering and quick 3D model reconstruction were examined in by the group.



Figure D2. Augmented maps (left) and natural feature tracking on mobile phones (right) were examined in the AR research group in EDC.

One of the latest research in AR team considered augmenting maps with digital graphical information and user interface components. It can provide an interactive way to browse and change additional digital information referenced by the map within the same tangible user interface paradigm. The augmented maps process include following stages:

1. interactive tracking of maps on a table top environment and projection of information
2. tracking tangible user interface devices which can be placed on the maps enabling intuitive access to information that is linked to locations on them – remote user interfaces with the system
3. method for pushing distributed user interfaces onto remote devices (PDA's, mobile phones etc.). When combined with the tangible UI tracking lets the user interact with real and virtual assets with the map.

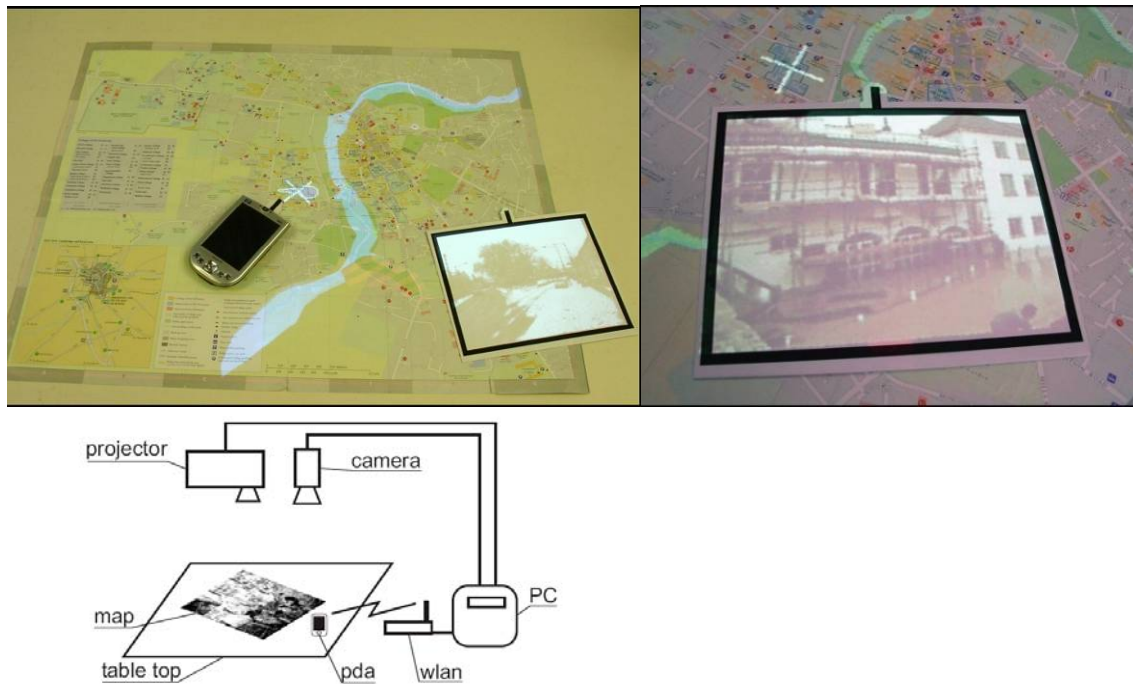


Figure 3. Schematic overview of the system.

Figure D3. Augmented maps by EDC AR research group: A camera mounted above the table tracks the maps locations on the surface and registers interaction devices placed on them. Projector (down) augments the maps with projected information from overhead.

### Results from the EDC visit period

The inclusive results of the research period are gathered in the report “Integrating Augmented Reality to Business – Design Approach for the commercial Utilization of augmented Reality Technologies” edited by Johanna Mela. In the report the design management perspective is widely viewed by connecting the knowledge from EDC Cambridge to the framework created by Riitahuhta research group in Finland. The framework created in Riitahuhta research group is based on experience of over 10 years and co-operation with wide variety of industrial parties. The research report gathers the latest information from the Augmented Reality field by classifying and analyzing the enabling technologies and defining the methodological basis for designing Augmented Reality -related products with high, product life-cycle long, value creation capacity. The report brings forth the main aspects of making better AR products for the needs of the industry and views the future scenarios for the utilization of Augmented Reality technologies. As an addition to the reporting, the future results from the EDC visit period include conference paper and further visits and networking with the University of Cambridge.



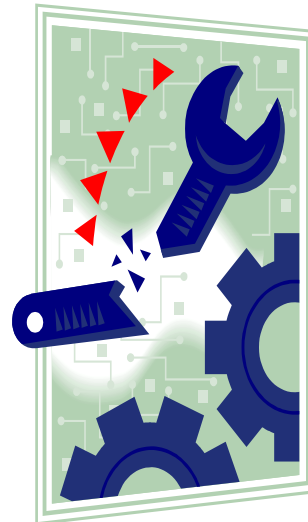


# Liite E: Laitteistot

## Liite E: Laitteistot

### Selvityksen laajuus ja aikataulut

- Laitteistokartoitus AugAsse-projektin tarkoituksiin
- Keskittyen näyttölaitteisiin (ei prosessointi, tracking ym.)
- Tässä esityksessä alustavia ja yleisiä huomioita
  - kalvot 2–14 AugAsse-johtoryhmä 16.1.2007
  - kalvot 15–18 AugAsse-johtoryhmä 3.10.2007
- Tarkempi kirjallinen raportti ja uudet laitehankinnat myöhemmin 2007–2008



1



## HMD-näyttölaitteiden toimintaperiaatteita

- Terminologiaa
  - HMD = Head Mounted Display
  - HWM = Head Worn Display
  - tarkoittavat samaa asiaa
- Videolasit (Video See Through display, VST)
  - kamera kiinnitettynä videolaseihin
  - videokuva maailmasta esitetään silmikkonäytöllä
  - virtuaaliobjektit augmentoidaan kamerakuvaan
- Optiset datalasiset (Optical See Through, OST)
  - virtuaaliobjektit projisoidaan läpinäkyvälle silmikkonäytölle
  - usein monimutkaisetkin linssisysteemit -> fokus, kuva-ala (Fov), läpinäkyvyys ym.
- Prosessointi erillisellä yksiköllä
  - tyypillisesti miniPC (vyöllä tms.), mobiiliin käyttöön ja/tai jos tarvitaan langallinen yhteys
  - myös serveri-PC (+ kannettava videoprosessori), jos työalue on rajallinen ja/tai langaton yhteys



2



## Datalasien etuja/haittoja

- Video- vs. optiset datalasiset
  - videoresoluutio + silmäoffset, vs. suora näkymä
  - todellinen ja virtuaalinen maailma synkronissa, vs. näyttöviive
  - virtuaaliobjektien helppo kohdennus, vs. kalibrointi käyttäjän mukaan
  - ei fokusointiongelmia (mono video), vs. rajoitettu työalue (optical)
  - hinta, videolasit tyypillisesti edullisempia
- Stereo vs. mono
  - 1 näyttö = monocular
  - 2 näyttöä, sama kuva = biocular
  - 2 näyttöä, stereokuva = binocular
  - huom. myös, 1 tai 2 kameraa
  - 2 kameran järjestelmät monimutkaisia, kalliita
  - stereo aiheuttaa enemmän pahoinvointia ("cyber stress") kuin mono
  - toisaalta "binocular rivalry", jos silmille tuotetaan eri informaatio



3



## Muita näyttölaitevaihtoehtoja

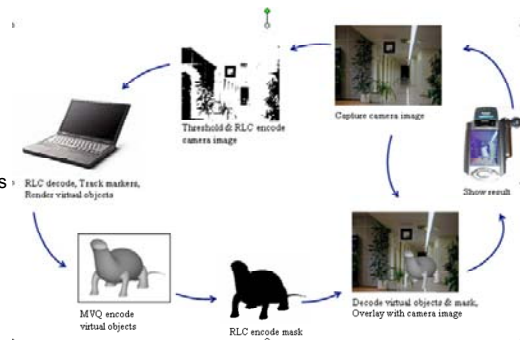
- Käämännäyttölaitteet
  - näyttö suoraan kämmen-PC:n ruudulla, lokaali prosessointi
  - muut mobiililaitteet (PDA, kännykkä ...), laskenta serverillä
  - ks. lisää alla
- Projektoripohjaiset ratkaisut
  - augmentoitavan tiedon projisointi kohteeseen
  - staattisiin sovelluksiin, käyttäjä vapaa laitteistoista
  - projektorit/kamerat esim. katossa
  - valaistusongelmat -> laser-pohjaiset ratkaisut
  - näitä ei käsitellä tässä enempää

4



## Kännykätoteutuksista

- Haasteita
  - laskentateho, 3D-grafiikka, muisti, näytön koko, kuvaresoluutio, ...
  - sovellusten porttaaminen, esim. Symbian on melko rajoittunut
- Uudet multimediateknologiat/käyttöjärjestelmät
  - Windows Smart Phone QTEC 9090 (PocketPC)
  - Nokia 770 Internet tablet (Linux)
  - iPhone (Apple OS X)
- Still-image client/server -ratkaisu
  - esim. läppäri serverinä
  - parempi tarkkuus, katseluetäisyys jne.
  - yksinkertaisimmillaan pelkkä kuvanlähetyk
  - mahd. laiteriippumaton toteutus
  - ei kännykkäohjelmointia
- Video client/server -ratkaisu
  - vrt. VTT:n aiempi AR-PDA toteutus



5



## VTT:n nykylaitteet

- Videolasit
  - iVisor videolasit (2002)
  - TriVisio ARVision-S videolasit (2004)
  - eMagin Z800 3Dvisor videolasit (2005)
  - MicroOptical PC Viewer (2005)
- PC-laitteet
  - Sony Vaio VGN UX 90S kämmen-PC, sis. kameran ym. (2006)
  - Sonyn aiempi malli VGN-U8G, kirkas näyttö, ulkotilasovelluksiin (2005)
  - Toshiba Portege M200 tablet-PC, Dell Precision M70 laptop-PC (2005)
  - muuta: webbikameroita, PDA-laitteita, kamerakännyköitä ym.
- Puuttuu toistaiseksi
  - optiset datalasisit
  - harkinnassa erit. Lumus (ks. alla)



© 2004 CNET Networks, Inc.

6

VTT

## Valintakriteereitä

- Yleisiä ongelmia
  - virransaanti
  - datalasiin kaapeloinnit
  - ergonomia, "eye strain", "cyber stress"
  - käyttäjien hyväksyntä
- Näyttölaitteen valinta sovelluksen mukaan
  - optiset datalasisit jatkuvaan käyttöön
  - videolasit tilapäiseen/lyhytaikaiseen käyttöön
  - näyttö kämmenlaitteella, jos ei hands-free-tarvetta
  - still-kuvien käyttö, jos ei tarvetta reaaliaikaiseen kuvaan
  - kännykät, jos ei haluta erikoislaitteita, edullisuus



7

VTT

## Tarjontaa / vertailuja

- HMD vertailulista

- <http://www.inition.co.uk/inition/compare.php?SubCatID=16>
- laaja laitelista, ajan tasalla ja tiedot hyvin esillä

- HMD Resolution analysis

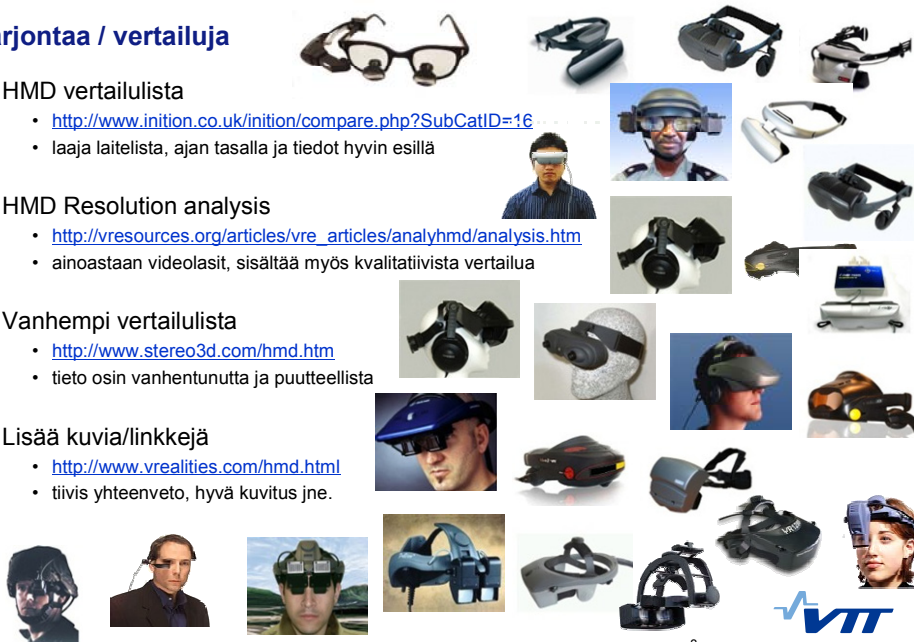
- [http://vresources.org/articles/vre\\_articles/analyhmd/analysis.htm](http://vresources.org/articles/vre_articles/analyhmd/analysis.htm)
- ainoastaan videolasit, sisältää myös kvalitatiivista vertailua

- Vanhempi vertailulista

- <http://www.stereo3d.com/hmd.htm>
- tieto osin vanhentunutta ja puutteellista

- Lisää kuvia/linkkejä

- <http://www.vrealities.com/hmd.html>
- tiivis yhteenveto, hyvä kuvitus jne.



8

## Laitevaihtoehtoja (video HMD)

- i-O Display systems (i-glasses) <http://www.i-glassesstore.com/>

- hankittu VTT:lle jo 2002, silloin suht. edullinen, mutta kapea Fov
- nykyversio PC/SVGE-3D Pro \$950, kilpailukykyinen eMaginin kanssa



- Trivisio <http://www.trivisio.com/>

- videolasit ARVision-S, hankittu VTT:lle 2004
- kalliit €5000, ei kovin hyvät, mm. huono säätövara



- eMagin <http://www.emagin.com/>

- Z800 3Dvisor, hankittu VTT:lle 2005, oltu tyytyväisiä
- edulliset \$550, hyvä näyttö ja ergonomia
- inertiatrackeri, 800 x 600 pix, 40 deg Fov etc.
- USB-liitäntä, kaapelointi silti ongelma (max. 2 m:n näyttökaapeli)
- harkinnassa rakentaa oma virtelmä, kamera gyron paikalle



9

### Laitevaihtoehtoja (optinen HMD)

- Lumus <http://www.lumus-optical.com/products.html>
- HWD
  - kevyt, 40 asteen field-of-view (Fov)
  - elektronikka & patterit headsetissä
  - patentoitu Light-guide Optical Element (LOE)
  - "optimaalinen" Fov, eye motion box, optiikan ym. koko
  - käytetty mm. BMW:n huoltotehtäväprojektissa (?)
  - kekeiltu ISMAR 2004–2005
- WST
  - Wearable Smart Terminal
  - HWD + pocket PC, langaton yhteys (WiFi, IR, WAP, ...)
  - optionaalinen kamera, osoitinjärjestelmä (pointing device)
  - optionaalinen pääntracking, sensorilla tai visuaalisesti
- Muuta
  - tulossa HHD kännykkäprojektorit
  - hintakysely lähetetty 11.1.2007 (ja jo aiemmin)
  - vastaus 15.1.2007: kaupallinen tuote vasta 1–1,5 vuoden päästä?!

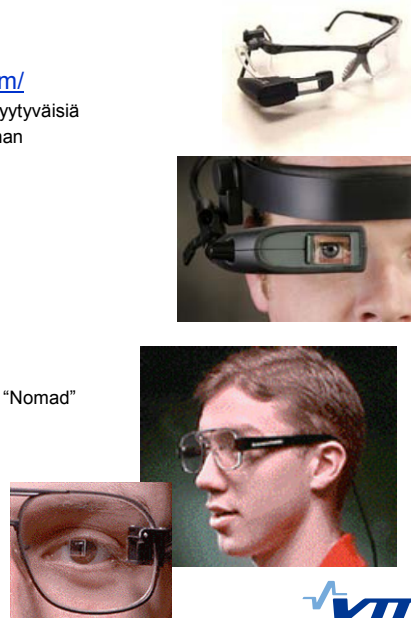


10



### Laitevaihtoehtoja (optinen HMD)

- MicroOptical <http://www.microopticalcorp.com/>
  - SV-6 PC Viewer, hankittu VTT:lle 2005, oltu suht. tyytyväisiä
  - 800 x 600 pix, 10 deg Fov, kaapelointi & akku hieman kömpelöt
- LiteEye <http://www.liteeye.com/>
  - samantapainen kuin MicroOptical
  - LE500 852x600 pix, "no external control box"
  - LE750 "industrial HMD"
- Microvision <http://www.microvision.com/>
  - uusia tuotteita mm. ND 2100 wireless see through, "Nomad"
  - 800x600 pix, 23 x 17 deg Fov
- Microvision, aiemmin myös
  - verkkokalvolle projisoiva ultrakevyt ratkaisu
  - valmistus lopetettu (Tom Furness, ISMAR 2006)

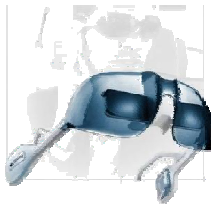


11



### Laitevaihtoehtoja (uusia, mm.)

- WorldViz Videovision  
<http://www.worldviz.com/products/videovision/>
  - esillä ISMAR 2006:ssa
  - erittäin hyvä kuva, mutta raskas & paksut kaapelit
  - hinta: optinen see-through \$35,000, videolasit \$9,000
- Mirage Innovations  
<http://www.mirageinnovations.com/>
  - "new lightweight video see through"
  - israeliläinen start-up (onko yhteyttä Lumusiin?)
  - ks. myös <http://blogs.zdnet.com/emergingtech/?p=230>



12



### Kirjallisuutta, mm.

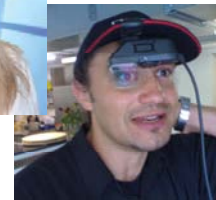
- Wikipedia
  - [http://en.wikipedia.org/wiki/Head-mounted\\_display](http://en.wikipedia.org/wiki/Head-mounted_display)
- ISMAR 2006 tutoriaali
  - <http://students.creol.ucf.edu/ozan/HWD-ISMAR-tutorial.pdf>
- Head Worn Displays Review
  - <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/9425/35281/01677544.pdf?isnumber=35281&arnumber=1677544>

13



## Tuoreimmat huomiot (10/2007)

- MicroOptical on nykyään MyVu Corp. [www.myvu.com](http://www.myvu.com)
  - keskittyen kuluttajamarkkinoille, Apple iPod -yhteistyö
  - hinnat \$300–\$200–\$100, tähtäin Pekingin olympialaisissa
  - backpack, lithium akku (8 hrs), 320 x 240 pix, see through panel
  - kannattanee kokeilla myös AugAssessa; ks [arvostelu](#)
- Microvision <http://www.microvision.com/>
  - uudet sijoittajille suunnatut webbisivut
  - tuore \$3,2 M\$ sopimus U.S. Air Forcen kanssa
  - "mobile device eyeware currently in development phase"
  - ei enää mainintaa "wireless"-ratkaisuista
- Liteye <http://www.liteye.com/>
  - kysely teknologiasta ja hinnoista Ruotsin edustajalle 13/08/2007, ei vast.
- Carl Zeiss <http://www.zeiss.de>
  - Woodward mukana aivoriihessä kuluttajasovellusten ideoimiseksi Sveitsissä 06/2007
  - tulossa "look around" -videolasit, FOV of 40°, brilliant colour image, €1,800–€2,500
  - optiset teolliskäyttöön tarkoitetut lasit (vrt. BMW-video), valm. tilauksesta €50,000



14



## Tuoreimmat huomiot (jatk.)

- Konica-Minolta
  - prototyyppi esitelty Japanissa 10/2006
  - [http://www.konicaminolta.com/about/research/core\\_technology/optical/mgt\\_001.html](http://www.konicaminolta.com/about/research/core_technology/optical/mgt_001.html)
  - "The Holographic See-Through Browser prototype resembles a pair of eyeglasses and uses a prism with a thickness of 3.5 millimeters and a holographic element to reduce the weight of the display to 27 grams."
- LASTER Technologies [www.laster.fr](http://www.laster.fr)
  - yritys perustettu 2005, keskittyy AR-näyttölaitteisiin
  - yhteydenotto VTT:hen EU-projektiehdotuksella: ks. [viite](#)
  - ProMobile display, for AR on the professional market, julkistus suunnitteilla 09/2007 (??), 40 x 30°, up to 1024 x 768 pixels, ergonomic: size of a pair of glasses, economic
  - jatkosuunnitelmat: ultrakevyt toteutus kuluttajamarkkinoille (TOLED-teknologia / Fraunhofer)
- Lumus [www.lumusvision.com](http://www.lumusvision.com)
  - ks. uusin video
  - Huom Motorola Ventures: <http://www.motorola.com/content.jsp>



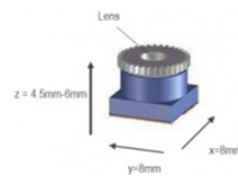
15





### Tuoreimmat huomiot (02/2008)

- Lasterilta saadaan HMD-koelaitteisto keväällä
  - odotetaan kiinnostuksella ...
  - jos viivästyy, vaihtoehtoinen hankinta
  
- Lumus "julkistanut" uudet HMD-tuotteet
  - kaupallisesti saatavilla loppuvuodesta ...
  - hinta "alk. muutama sata dollaria"
  - professional-versio PD-18
  - suunnitteilla myös langaton versio
  - patterinkesto 2–6 tuntia
  
- Kameran kehittyvät ja keventyvät
  - tarkemmin seuraavassa raportissa ...



16



### AR-kypärä

- integroitu kypärä, kamera ja silmikkönäyttö
- suht. hyvä ergonomia, huomaamaton kaapelointi
- toteutus SPECIAL-projektissa: Pöyry Oyj & VTT



17



### Valtran pilotti / ratkaisuvaihtoehtoja

- virtuaalinen / augmentoitu näkymä
- markkerit / piirteentunnistus / anturit
- monitori / mobiililaitte / datalasi
- mobiililaitte kädessä / mekaanisessa varressa
- yksi / useampi (ulkoinen) kamera
- kamera seinällä / mobiililaitteessa / päässä
- kokoonpanon / näyttölaitteen / pään tracking
- erityishaaste: *kuvapohjainen tracking vaikeaa, kun kohde (kokoonpantava laite) muuttuu koko ajan*

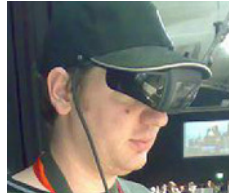


18



### Tuoreimmat huomiot (11/2008)

- MyVu:lta uudet cristal datalasi
  - VGA-resoluutio, hinta n. €300
  - sovitusmoduli myös PC-laitteille
  - kaksi näyttöä (yksi kullekin silmälle)
  - tilattu VTT:lle
- Lumuksen optiset lasit vihdoinkin markkinoilla
  - hinta €10,000, tilausaika 3 kk
  - käyttäjäkokemukset eivät pelkästään positiivisia
  - keskustelu Mark Livingstone, Naval Research USA
- Vierailukäynti Lasterilla
  - Woodward kesäkuussa 2008
  - suunnitteilla optiset lasit alle €1,000
  - lupaava prototyyppi jo olemassa (ks. kuva)
- Nokian prototyyppi
  - videolasit katseenseurannalla (kuva)
  - see-through (kamerat) tulossa lähiaikoina



19



### Viimeiset huomiot (01/2009)

- MyVu cristal datalasisit hankittu VTT:lle
  - ihan näppärät, kevyet ja edulliset
  - "lippalakkimalli" rakenteilla
- Uudet kännykkämallit uusilla ominaisuuksilla
  - iPhone: iso näyttö, suosittuja AR-alalla jo
  - Nokia 6210: sis. mm. GPS, gyrokompassi
  - vrt. Nokian MARA-toteutus ja ImageSpace
  - Nokian Internet Tablet N810 ... uudet Linux-tuotteet tulossa
- Miniprojektorit jo kaupoissa
  - esim. 3M Mpro 110 Micro-projector
  - myynnissä Verkokauppa.com, hinta €350
  - muita mm. TI Optima Pico tulossa 2009





## VTT Working Papers

- 123 Juha Forsström. Euroopan kaasunhankinnan malli. 2009. 80 s.
- 124 Jyrki Tervo, Antti Manninen, Risto Ilola & Hannu Hänninen. State-of-the-art of Thermoelectric Materials Processing, Properties and Applications. 2009. 29 p.
- 125 Salla Lind, Björn Johansson, Johan Stahre, Cecilia Berlin, Åsa Fasth, Juhani Heilala, Kaj Helin, Sauli Kiviranta, Boris Krassi, Jari Montonen, Hannele Tonteri, Saija Vatanen & Juhani Viitaniemi. SIMTER. A Joint Simulation Tool for Production Development. 2009. 49 p.
- 126 Mikko Metso. NoTA L\_INdown Layer Implementation in FGPA Design results. 2009. 20 p.
- 127 Marinka Lanne & Ville Ojanen. Teollisen palveluliiketoiminnan menestystekijät ja yhteistyösuhteen hallinta - Fleet asset management - hankkeen työraportti 1. 2009. 65 s. + liitt. 10 s.
- 128 Alternative fuels with heavy-duty engines and vehicles. VTT's contribution. 2009. 109 p. + app. 8 p.
- 129 Stephen Fox. Generative production systems for sustainable product creation. 2009. 104 p.
- 130 Jukka Hemilä, Jyri Pötry & Kai Häkkinen. Tuotannonohjaus ja tietojärjestelmät: kokemuksia sekä kehittämisperiaatteita. 2009. 37 s.
- 131 Ilkka Hannula. Hydrogen production via thermal gasification of biomass in near-to-medium term. 2009. 41 p.
- 132 Hannele Holttinen & Anders Stenberg. Tuulivoiman tuotantotilastot. Vuosiraportti 2008. 2009. 47 s. + liitt. 8 s.
- 133 Elisa Rautioaho & Leena Korkiala-Tanttu. Bentomap: Survey of bentonite and tunnel backfill knowledge – State-of-the-art. 2009. 112 p. + app. 7 p.
- 134 Totti Könnölä, Javier Carrillo-Hermosilla, Torsti Loikkanen & Robert van der Have. Governance of Energy System Transition. Analytical Framework and Empirical Cases in Europe and Beyond. GoReNEST Project, Task 3. 2009. 49 p.
- 136 Toni Ahonen & Markku Reunanen. Elinkaaritiedon hyödyntäminen teollisen palveluliiketoiminnan kehittämisessä. 2009. 62 s. + liitt. 8 s.
- 137 Eija Kupi, Jaana Keränen & Marinka Lanne. Riskienhallinta osana pk-yritysten strategista johtamista. 2009. 51 s. + liitt. 8 s.
- 139 Jukka Hietaniemi & Esko Mikkola. Design Fires for Fire Safety Engineering. 2010. 100 p.
- 140 Juhani Hirvonen, Eija Kaasinen, Ville Kotovirta, Jussi Lahtinen, Leena Norros, Leena Salo, Mika Timonen, Teemu Tommila, Janne Valkonen, Mark van Gils & Olli Ventä. Intelligence engineering framework. 2010. 44 p. + app. 4 p.