

Minna Vanhatapio

## **TYÖOHJEISTUKSEN KEHITTÄMINEN LISÄTYN TODELLISUUDEN AVULLA**

Tukiasematehtaan tuotanto

# **TYÖOHJEISTUKSEN KEHITTÄMINEN LISÄTYN TODELLISUUDEN AVULLA**

Tukiasematehtaan tuotanto

Minna Vanhatapio  
Opinnäytetyö  
Syksy 2016  
YAMK, Teknologialiiketoiminta  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Ylempi ammattikorkeakoulututkinto, Teknologialiiketoiminta

---

Tekijä: Minna Vanhatapio

Opinnäytetyön nimi: Työohjeistuksen kehittäminen lisätyn todellisuuden avulla, Tukiasematehtaan tuotanto

Työn ohjaaja: Hannu Pääatalo

Työnvalmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2016

Sivumäärä: 107

---

Opinnäytetyössä tutustuttiin Augmented Reality -tekniikkaan eli lisättyyn todellisuuteen. Lisätyllä todellisuudella tarkoitetaan reaaliaikaista näkymää, jonka päälle lisätään tietokonegrafiikalla tuotettua informaatiota kuten 3D-kuvia, ääntä ja videoita. Informaatio voidaan näyttää esimerkiksi älypuhelimessa, tabletissa, tietokoneen näytöllä tai älylaseilla. Tavoitteena oli tarjota toimeksiantajalle kattava kuva lisätystä todellisuudesta ja sen tämän hetkistä mahdollisuuksista työohjeistuksessa sekä selvittää mitä hyötyjä sillä voitaisiin saavuttaa Nokia Networksin tukiasematuotannossa.

Työssä tutkittiin voitaisiinko lisätyn todellisuuden avulla tuotannon työohjeistusta parantaa, sekä pohdittiin laajemmin mitä tekniikan käyttöönotto vaatii ja mitä kaikkea on otettava huomioon. Tutkimus suoritettiin tutustumalla tekniikkaa kehittäneiden tutkijoiden tutkimuksiin, käyttäjien ja eri käyttöalojen ammattilaisten arviointeihin sekä haastateltiin VTT:n erikoistutkijoita. Työssä kartoitettiin työympäristö johon ohjeistusta ollaan kehittämässä, sekä mietittiin valmis lisätyn todellisuuden ratkaisu työohjeistukseen.

Tutkimuksessa havaittiin lisätylle todellisuudelle useita muitakin potentiaalisia käyttökohteita tuotannossa, joista muutamia on esitetty raportissa. Lisätyn todellisuuden hyödyntämisestä koituvat edut ohjeistuksessa ovat nähtävissä tämän hetkisen tutkimustiedon avulla. Lisätyn todellisuuden saattamiseksi yrityksen laajamittaiseen käyttöön tarvitaan kuitenkin huomattava määrä työtä ja muutoksia nykyisiin toimintamalleihin. Tutkimuksen avulla saatiin selville teknologian nykytila ja myös viitteitä sen tulevaisuudesta. Lisätty todellisuus yleistyy lähivuosina älylaitteiden kehittymisen ja yleistymisen myötä.

---

Lisätty todellisuus, laajennettu todellisuus, täydennetty todellisuus, augmentoitu todellisuus, kokoonpanotyö, ohjaava kokoonpano

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Master's degree, Technology Business

---

Author: Minna Vanhatapio

Title of thesis: Work instruction development with augmented reality technology, Base station production

Supervisor: Hannu Päätaalo

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2016 Number of pages: 107

---

This thesis examine the theory and practice of augmented reality. Augmented reality is a way of presenting virtual information merged into a real world environment. It is a technology enriching the real world with digital information and media, such as 3D-models and videos, overlaying in real-time the camera view of the smartphone, tablet, PC or connected glasses. The theoretical section gives an overview of the potential of augmented reality. The practical section presents the possibilities and benefits that can be realised in Oulu Nokia Networks base station production work instructions.

The purpose of this thesis was to study what augmented reality is and how it is used in production work instruction. How can it be used? What kind of technology does it need in order to work? How well does it fit into base station production? What environmental factors must be taken into account? The research was conducted investigating current scientific publications and other sources of information about augmented reality. This also included cooperation with, and the interviewing of, VTT's augmented reality specialists.

The research showed multiple potential applications for augmented reality within production at Nokia Networks. To bring these applications into large- scale use, a considerable amount of work would need to be done involving many changes to existing operating models. By examining not only the current state of technology but also its probable future, it can be concluded that augmented reality will most definitely become more and more widespread in the coming years as smart devices evolve, which will create new opportunities to integrate digital information into our everyday lives.

---

Keywords: Augmented reality, virtual reality, assembly work, augmented assembly

# SISÄLLYS

ESIPUHE .....	8
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET .....	9
1 JOHDANTO .....	12
1.1 Tutkimusongelma .....	12
1.2 Tavoite .....	13
1.3 Työn rakenne .....	14
1.4 Industry 4.0.....	15
2 LISÄTTY TODELLISUUS .....	17
2.1 Historia .....	17
2.2 Laitteistot ja teknologia .....	20
2.3 Näyttöteknologiat.....	21
2.3.1 Päässä pidettävät näytöt.....	21
2.3.2 Kädessä pidettävät näytöt.....	29
2.3.3 Projektionäytöt .....	30
2.4 Tunnistus ja kohdentaminen.....	30
2.4.1 Merkkipaikannus .....	31
2.4.2 Merkitön paikannus.....	33
2.5 Visualisointi .....	35
2.6 Interaktio ja vuorovaikutus.....	36
2.7 Ohjelmakirjastot.....	36
2.7.1 ARToolkit .....	37
2.7.2 ALVAR.....	37
2.8 Sovellusalueet – kokoonpano.....	38
2.9 Lisätty todellisuus ja PDM .....	43
2.10 Aikaisemmat tutkimukset.....	45
2.11 Lisätyn todellisuuden hyödyt ohjeistuksessa .....	49
2.12 Lisätyn todellisuudet haasteet ohjeistuksessa .....	53
2.13 Lisätyn todellisuuden kehitys.....	54

3	TYÖOHJEET .....	56
3.1	Tuotannon tehostaminen työohjeilla .....	57
3.2	Hyvän työohjeen laatiminen .....	57
3.2.1	Työohjeiden rakenne .....	58
3.2.2	Työohjeiden selkeyttäminen kuvien avulla .....	58
3.2.3	Työohjeissa käytettävät varoitukset .....	59
3.3	Ymmärrettävyyden ja luettavuuden vaatimukset .....	59
3.4	Työohjeiden sijainti ja määrä .....	60
3.5	Työohjeistuksen haasteet.....	60
4	TYÖYMPÄRISTÖ .....	62
4.1	Sisäinen ympäristö .....	62
4.2	Ulkoinen ympäristö.....	62
4.3	Asiakkaat.....	62
4.3.1	Ulkoinen asiakas.....	63
4.3.2	Sisäinen asiakas .....	63
4.4	Muutoksen alku .....	63
4.5	Prosessien tunnistaminen ja kuvaus .....	64
4.5.1	Lean-ajattelu .....	65
4.6	Työympäristö tutkittavassa yrityksessä .....	65
5	YRITYKSEN KOKOONPANOLINJAT .....	68
5.1	Työohjeet yrityksessä.....	70
5.1.1	Paikalliset ja globaalit ohjeet.....	72
5.1.2	Ohjeiden päivittäminen.....	72
5.2	Laitteisto.....	73
5.3	Käyttöliittymä ja ohjelmisto .....	73
5.4	Tuotteiden tunnistus .....	73
5.5	Työkierto ja perehdyttäminen .....	74
5.6	Kokoonpanon hukat .....	75
5.7	Työergonomia ja työturvallisuus .....	77
5.8	Ympäristöasiat ja ekologisuus .....	78
5.9	Havainnointi.....	78
5.10	Käyttäjälähtöinen näkökulma.....	81

6	LISÄTYN TODELLISUUDEN SUUNNITELMA .....	82
6.1	Pilotin tavoitteet .....	82
6.2	Käytettävät laitteistot .....	83
6.3	Ohjeistustyökalu .....	84
6.4	Ohjelmistot ja kirjastot .....	85
6.5	Ohjeet.....	86
6.6	Järjestelmän laajennettavuus .....	87
6.7	Pilotin tuotokset.....	87
7	TULOKSET.....	89
7.1	Lisätyn todellisuuden investoinnin kannattavuudesta .....	91
7.2	Jatkokehitys.....	92
7.3	Muut käyttökohteet .....	93
8	POHDINTA .....	95
8.1	Rajoitukset ja haitat .....	96
8.2	Lisätyn todellisuuden tulevaisuus .....	97
	LÄHTEET.....	99

## ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö on tehty Nokia Networksin toimeksiannosta osana Oulun ammattikorkeakoulun ylempää insinööritutkintoa. Tutkimusraportti on kirjoitettu Oulun Seudun ammattikorkeakoululle ja Nokia Networksille sekä kaikille, jotka harkitsevat käyttävänsä lisättyä todellisuutta lähitulevaisuudessa tai miettivät vastaavanlaista muutosta.

Vaikka toimeksiantajana on monikansallinen globaali yritys, on tutkimusraportti kirjoitettu suomeksi sillä lisätystä todellisuudesta ja siihen liittyvistä menetelmistä on jo olemassa paljon materiaalia englanniksi. Hankkeen tarkoitus on oman tutkimustaidon ja ammattitaidon kehittyminen rajatussa aikapuitteissa. ”Opinnäytetyö viisastaa tekijäänsä ja hyödyttää tilaajaansa”. Lisäksi toimeksiantajan intressi on valmistuneessa lopputuotteessa: lyhyessä raportissa ja toteutus ehdotuksessa, ei niinkään hyvin yksityiskohtaisesta kirjallisesta selvityksestä. Hyvin toimivan ja hyödyllisen ohjeistus/metodien työntulokset voidaan ”kaupata” muille tehtaille lyhyen referaatin muodossa esimerkiksi PowerPoint-esitys. Nokian Networks puolesta opinnäytetyötä valvoi Mika Kaivola.

Opinnäytetyö on talletettu ja saatavissa ammattikorkeakoulujen julkaisuarkistosta Theseuksesta.



## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

AR	Augmented Reality	Lisätty todellisuus, laajennettu todellisuus
AV	Augmented virtuality	Lisätty virtuaalisuus
ALVAR		VTT:n kehittämä AR-ohjelmakirjasto
ARToolKit		AR-ohjelmakirjasto
BOM	Bill of Material	Osaluettelo
Bluetooth		Avoin standardi laitteiden langattomaan kommunikointiin lähietäisyydellä.
CAD	Computer Aided Design	Tietokoneavusteinen suunnittelu
CAMDASS	Computer Aided Medical Diagnostics and Surgery System	Tietokoneavusteinen diagnostiikka- ja leikkauksjärjestelmä.
CE	Conformité Européenne	Eurooppalainen tuotteiden hyväksymismenettely vaatimusten mukaisuuden osoittamiseksi
CN	Change Note	Muutostiedote
EMS	Electronics Manufacturing Services	Sopimusvalmistaja
ESD	Electro Static Discharge	Sähköstaattinen purkaus
FLARToolKit		Flash-versio AR ohjelmakirjastosta.
GPS	Global Positioning System	Maailmanlaajuinen satelliittipaikallistamisjärjestelmä

Gyroskooppi		Laite jolla mitataan tai säilytetään kappaleen orientaatio. Toiminta perustuu liikemäärämomenttiin
HMD	Head Mounted Display	Päässä pidettävä heijastusnäyttö
HMPD	Head Mounted Projector Display	Päässä pidettävä projektorinäyttö
HUD	Heads-Up Display	Läpinäkyvä heijastusnäyttö
ISS	International Space Station	Kansainvälinen avaruusasema
IP	Internet Protocol	TCP/IP-mallin Internet-kerroksen protokolla
IT	Information Technology	Informaatio teknologia
IN	Implementation note	
IMD	Intermodulation Distortion	Keskeismodulaatiosärö
LED	Light Emitting Diode	Ledi, puolijohdekomponentti
MR	Mixed Reality	
OGI	Out Going Inspection	Lopputarkastus
OST	Optical See Through	Optiset datalasit
PD	Production Device	
PDM	Product Data Management	Tuotetiedon hallintajärjestelmät
PLM	Product Lifecycle Management	Tuotteen elinkaaren hallintajärjestelmät
RFID	Radio Frequency Identification	Radiotaajuinen etätunnistus
RTK	Real-time Kinematic	Reaaliaikainen kinemaattinen gps

SAP	Systems, Applications and Products in data processing	Ohjelmistovalmistaja
SAR	Spatial Augmented Reality	Tilaa koskeva lisätty todellisuus
SLARTool-Kit		Ohjelmakirjasto Silverlightille ja Windows Phonelle
SMT	Surface-Mount Technology	Pintaliitostekniikka
Takt-time	Tahtiaika	Aika, joka pitäisi kulua komponentin tuottamiseen yhteen lopputuotteeseen. Laskentakaava on käytettävissä oleva työaika / tilattujen tuotteiden lukumäärä.
VR	Virtual Reality	Virtuaalitodellisuus
VST	Video See Through	Näyttölaitteissa käytetty teknologia
VTT		Valtion Teknologian Tutkimuskeskus
2D, 3D	2-, 3-dimensional	2- ja 3-ulotteinen

# 1 JOHDANTO

Käsin kasattavassa elektroniikkateollisuuden kokoonpanotyössä tuotteisiin liitetään komponentteja ja tarvikkeita eri työvaiheissa. Työohjeiden pääasiallinen tarkoitus on kuvata kokoonpanotyötä tekevälle työntekijälle koonnan eri työvaiheiden suoritus aikajärjestyksessä, jotta laatutavoitteet saavutetaan. Työohjeita on laadittu viime vuosisadan alusta, jolloin käsite liukuhihnatuotanto sai alkunsa Henry Fordin perustamalla tehtailla. Yhteiskuntatieteessä synonyymejä liukuhihnatuotannolle ovat massa- ja sarjatuotanto, jollaista tuotantoyhtiötä Nokiakin edustaa. Työohjeet ovat tärkeässä osassa uuden työntekijän perehdyttämisessä, työopastuksessa ja sisäisen mallin luomisessa, mutta myös kokeneet työntekijät pystyvät käyttämään ohjeita apuna esimerkiksi ongelmatilanteissa tai muistinvirkistykseenä. Lisäksi työohjeita tarvitaan varsinkin uusille tuotteille. Jokaiselle tuotteelle ja asennustyövaiheelle on omat yksityiskohtaiset ohjeet. Kokoonpano-ohjeet voivat olla perinteiset tulostettavat paperiohjeet tai nykyään tietokonepohjaiset ohjeet, ohjeiden sisältö on yleensä sama. Globaalissa kilpailussa pärjääminen edellyttää yrityksiltä lisää innovaatioita ja aiheuttaa suuria paineita valmistuksen nopeutumiselle. Tuotteisiin kohdistuvat vaatimukset lisääntyvät, jolloin tuotteista tulee entistä monimutkaisempia. Vaikka tarvittavan ymmärryksen saavuttaminen on haastavampaa, on yhä tärkeämpää saavuttaa mahdollisimman korkea ymmärrys entistä nopeammin. Yksi tehokkaimmista tavoista ymmärryksen lisäämiseksi ja nopeuttamiseksi on visuaalisuuden lisääminen. Teknologian kehittyessä voidaan ohjeistuksessa käyttää muitakin apukeinoja, tässä työssä on keskitytty lisättyyn todellisuuteen (augmented reality, AR), jossa todelliseen näkymään tuodaan virtuaaliympäristön komponentteja näyttölaitteen avulla.

## 1.1 Tutkimusongelma

Tutkimuksen tarkoituksena on tutkia voitaisiinko lisättyä todellisuutta hyödyntää elektroniikkatuotteita valmistavan tukiasematehtaan työohjeistuksessa. Tarkastelu kohdistuu Oulun Nokia Networks tukiasematehtaan tuotteiden valmistuksen kokoonpanoalueisiin sekä lisätyn todellisuuden antamiin mahdollisuuksiin ja hyödyntämiseen työohjeistuksessa. Kokoonpanolinjoilla on useita kehityshankkeita meneillään; linjojen rakenne ja malli muuttuvat, useisiin eri toimintamuotoihin etsitään uusia parempia ratkaisuja. Uuden innovatiivisen ohjeistuksen löytäminen on myös ajankohmainen asia. Kuinka myös työohjeistusta voitaisiin parantaa ja mitä kaikkea tulee huomioida?

On tärkeää ymmärtää kokonaisuudessaan nykytilanne, johon muutosta lähdetään etsimään. Aluksi kartoitetaan kokonaisuudessaan kokoonpanolinjojen työohjeistukseen liittyvät asiat, tunnistetaan nykyiset toimintatavat ja työympäristö. Kokonaiskartoituksen jälkeen pystytään paremmin huomioimaan tärkeimmät kohteet, joissa lisättyä todellisuutta voisi ajatella hyödynnettävän. Kyseessä on Lean-tehdas ja siksi on tärkeää huomioida kaikki mahdolliset parannuskohteet. Lean-periaatteen kuuluu mm. vähentää prosessivaiheita, tehostaa tuotantoa ja karsia pois turha tekeminen.

Kehitettävät järjestelmät suunnitellaan käyttäjiä varten eli kokoonpanijoita varten. Käyttäjälähtöisessä suunnittelussa käyttäjä on suunnittelun keskiössä, ja suunnittelun lähtökohtana pidetään käyttäjien tarpeita ja toiveita, tällä pyritään takaamaan kehitettävien järjestelmien hyödyllisyys ja helppokäyttöisyys. Tässä apuna käytetään käyttäjien haastatteluja, havainnointia ja profilointia. Tarkoituksena on lähestyä valmista suunnitelmaa yhdistämällä ohjeistus, käyttöliittymä, laitteen tekniikka ja käyttäjän vaatimukset.

## 1.2 Tavoite

Tavoitteena on tutkia, onko lisätyn todellisuuden käyttö työohjeistuksessa mahdollista. Soveltuuko markkinoilla tällä hetkellä oleva lisätyn todellisuuden teknologia käytettävyyden, kustannusten ja säästöjen puolesta työohjeistukseen? Minkä tyyppisellä laitteistolla ja ohjelmistolla lisättyä todellisuutta kannattaisi lähteä toteuttamaan haluttuun tarkoitukseen? Voidaanko tätä kautta parantaa yrityksen kilpailuetua, laadukkuutta, työmotivaatiota, tuottavuutta ja saada kustannussäästöjä? Onko työohjeistus mahdollista toteuttaa lisättyä todellisuutta hyödyntäen, kuitenkin niin käyttäjälähtöisesti, että tästä on kokonaisvaltaisesti hyötyä työn suorittamisessa. Millainen on ympäristö, jossa teknologiaa on tarkoitus käyttää? Mitä kaikkea on otettava huomioon, jos yritys siirtyy lisätyn todellisuuden käyttöön? Kysymyksiin on haettu vastauksia mm. haastattelujen ja havaintojen avulla yrityksestä (kehitettävä kohde) ja tietoa eri julkaisuista sekä yhteistyössä VTT:n (Valtion Teknologian Tutkimuskeskus) kanssa.

Uuden teknologian avulla tavoitellaan kustannussäästöjä. Lisätyn todellisuuden ohjeistuksen tarkoituksena on tehostaa kokoonpanotyötä ja tätä kautta parantaa tuottavuutta, laatua (virheettömyyttä) ja vähentää tuotteiden korjaustarvetta. Virheiden määrää on ainakin periaatteessa mahdollista vähentää lisäämällä kontrollia. Ohjeistuksen avulla olisi mahdollista vähentää työhön val-

mentamista, työhön käytettävää opettelu-aikaa ja avustuksen tarvetta eli työntekijät olisivat itseohjautuvampia. Ohjeistuksen tarve on suuri varsinkin kun, uusi henkilö tulee työskentelemään linjalle. Uusien henkilöiden lisäksi linjoilla on paljon henkilösiirtoja sekä työkiertoa. Tavoitteena on myös henkilöstön työmotivaation lisääminen ja ergonomian paraneminen. Ohjeistuksen olisi tarkoitus toimia mahdollisimman käyttäjälähtöisesti. Tavoitteena on löytää työohjeistustapa, joka toimii hyvin käyttäjillä, joiden lähtökohdat ovat erilaiset, ja on kokonaisuutena toimiva ja tehokas. Lisättyä todellisuuden tekniikkaa hyödyntämällä prosessista uskotaan tulevan entistä tehokkaampi. Tätä kautta voidaan saavuttaa kustannussäästöjä ja nostaa yrityksen kilpailukykyä.

Tässä esitettävän jäsennyksen tavoitteena on tarjota tietoa siitä, milloin lisättyä todellisuutta ehkä kannattaisi käyttää. Esitys perustuu kokonaiskuvaan lisätyn todellisuuden ominaisuuksista, syntyvistä kustannuksista, sekä hyötyjen ja haittojen analysoinnista. Tutkimus sisältää lisätyn todellisuuden teknologian valinnan, johtopäätökset ja käyttöönoton kannattavuusarvioinnin. Lopputuloksena tehdään esitys, kannattaako lisätyn todellisuuden tekniikan käyttöönotto kokoonpanon työohjeistuksessa ja miten. Tarkkoja kustannus-hyötylaskelmia ei ole tähän jäsennykseen integroitu (eli voidaanko muiden opetusteknologioiden avulla saavuttaa samat osaamis- ja oppimistavoitteet yhtä tehokkaasti tai tehokkaammin). Tutkimustulosten on tarkoitus palvella toimeksiantajaa. Tutkimukseen voidaan palata myöhemmissä tarpeissa ja hyödyntää yrityksen muissakin projekteissa.

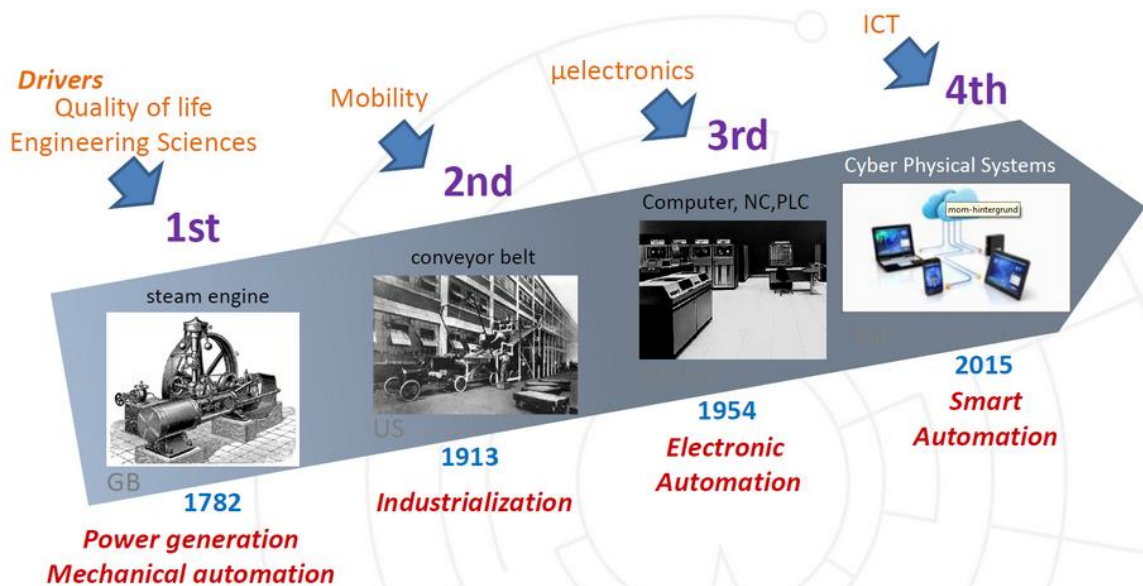
### **1.3 Työn rakenne**

Työssä on aluksi, luvussa kaksi, tutustuttu lisätyn todellisuuden historiaan, kerrottu sen laitteistoista, teknologiasta ja sen käytöstä kokoonpanossa. Useita aikaisempia tutkimuksia ja niiden tuloksia on käyty läpi. Lisäksi kerrotaan lisätyn todellisuuden avulla saavutettavat hyödyt ja mahdolliset käyttöön liittyvät haitat. Luvussa kolme on kerrottu työohjeista yleensä ja mitä niiden tekemisessä olisi hyvä huomioida. Työympäristö luvussa on käyty läpi työympäristöä, asiakkaita ja prosessia. Tämän jälkeen, luvun viisi yrityksen kokoonpanolinjat luvussa on kartoitettu ja kuvattu laajasti aluetta, jossa lisättyä todellisuutta olisi tarkoitus käyttää sekä mietitty asioita, jotka olisi hyvä huomioida muutettaessa työohjeistusta. Kappaleessa käydään läpi yrityksen työohjeita ja työohjeistuksen kannalta olennaisia asioita. Lisätyn todellisuuden suunnitelma luvussa, luvussa kuusi, selvitetään, miten lisätyn todellisuuden järjestelmä voitaisiin käytännössä toteuttaa yrityksen kokoonpanolinjan työohjeistuksessa, mitä työkaluja, laitteistoja, ohjelmistoja ja investointeja tarvitaan. Suunnitelma on tarkoitus toteuttaa ensivaiheessa pilotin omaisena kokeiluna, jossa kehitetään ja

kokeillaan lisättyä todellisuutta. Tulokset luvussa on arvioitu investoinnin hyötyjä, käyty läpi pilotin jatkokehitysideoita ja muita lisätyn todellisuuden käyttökohteita. Viimeinen luku on pohdinta.

## 1.4 Industry 4.0

Industry 4.0 on neljäs teollinen vallankumous. Ensimmäinen teollinen vallankumous 1700-luvulla (Teollisuus 1.0) toi mukanaan ensimmäiset tuotantokoneet, toinen 1900-luvun alussa massatuotannon ja työnjaon (Teollisuus 2.0), ja kolmas 1900-luvun loppupuolella elektroniikan (Teollisuus 3.0). Nyt on käynnissä neljäs vallankumous (Teollisuus 4.0), jossa on kyse tuotantojärjestelmien digitalisaatiosta. (Expense Reduction Analysts Europe 2015, viitattu 8.5.2016.) Seuraavassa kuviossa (kuvio 1) on esitetty edellä mainitut vaiheet.



KUVIO 1. Industry 4.0, teollinen vallankumous (Industrial Agile Solutions 2016, viitattu 7.5.2016)

Industry 4.0 on visio siitä, miten teollinen tuotanto tulee kehittymään, ja se tulee olemaan teollisuusautomaation seuraava suuri muutos. Industry 4.0:n myötä syntyy tehokkaasti verkostoituneita järjestelmärakenteita, joihin liittyy lukuisia osallistujia, IT-järjestelmiä, automaatiokomponentteja ja koneita. IT:n ja automaation sulautumisen myötä koneet ja laitokset voivat mukautua nopeasti muuttuviin vaatimuksiin. Teollinen internet ja kehittyvät teknologiat tuovat mukanaan sen, että keskitetystä tuotantoprosessista siirrytään hajautettuun, älykkääseen tuotantoon, joissa koneet viestivät keskenään. Kaikki voidaan liittää samaan verkkoon, ja useista eri lähteistä tulevaa tietoa voi-

daan tallentaa, siirtää, analysoida, mukauttaa ja automatisoida ihmisen tarvitsematta puuttua asiaan. Useimmat yritykset joutuvat investoimaan uusiin ohjelmiin ja järjestelmiin, jotka mahdollistavat sen, että virtuaaliset ja fyysiset elementit voidaan liittää toisiinsa koneiden välisen kommunikaation, tietotekniikan ja suuren tietomäärän välityksellä. Industry 4.0:n ydinajatus on ”keskitetyn ohjauksen sijaan älykäs vuorovaikutus”. (Phoenix Contact Oy 2016; Pilz GmbH & Co. KG 2016, viitattu 7.5.2016.)

Industry 4.0:n yksi osa-alue on lisätty todellisuus. Lisätyn todellisuuden järjestelmät tukevat erilaisia palveluja. Sen avulla voidaan esimerkiksi vuorovaikutteisesti etänä kouluttaa ja auttaa huoltotoimenpiteiden tekemisessä. Se on yksi nopeasti kehittyviä teknologioita, joka auttaa ihmisiä työskentelemään tuotannossa ja tulee toimimaan ihmisten laitteiden välisenä rajapintana. Kuviossa 2 on esitetty Industry 4.0:n eri osa-alueita.



KUVIO 2. Industry 4.0, teollisen tuotannon 9 teknologiaa (BCG 2016, viitattu 7.5.2016)



## 2 LISÄTTY TODELLISUUS

Lisätty todellisuus (Augmented reality, AR) yhdistää reaali maailman ja virtuaalisen todellisuuden (Virtual Reality, VR) toisiinsa, toimii interaktiivisesti ja reaaliaikaisesti sekä kohdistaa todelliset ja virtuaaliset objektit toistensa kanssa (Azuma 1997, 2). Se yhdistää käyttäjän näkemään todelliseen maailmaan digitaalisesti tuotettua informaatiota (Haag, Salonen, Siltanen, Sääsäski & Järvinen 2011, 10). Lisätty todellisuus on virtuaalitodellisuussimuloituja elementtejä, joita käyttäjä tarkastelee läpikatseltavien (see-through) näyttöjen kautta. Lisätyn todellisuuden materiaalina voidaan käyttää kuvia, ääntä, videoita, tekstiä, GPS-informaatiota ja siihen liittyy kontekstoiva äly, joka yhdistelee edellä mainittuja elementtejä. (Opetushallitus 2013, viitattu 7.5.2016.)

Lisätyssä todellisuudessa reaali maailma ja virtuaalinen maailma yhdistetään reaaliajassa ja oikein kohdennettuna. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi liittämällä reaali maailmasta otettuun videokuvaan virtuaaliolioita skaalattuna ja asemoituna. Virtuaalioloiden paikoitukseen käytetään esimerkiksi markkereita tai tuotteen tai ympäristön piirteitä. Markkeri tarkoittaa, että todelliseen maailmaan on asetettu kohdistuspiste, jonka suhteen virtuaalisia kohteita sijoitetaan reaali maailmasta otettuihin kuviin. (Salonen, Sääsäski, Wordward, Hakkarainen, Korkalo & Rainio 2009, 7, 22.)

Toisin kuin virtuaalitodellisuus, lisätty todellisuus ei korvaa todellista maailmaa, vaan täydentää sitä lisäämällä siihen virtuaaliolioita. Lisätyn todellisuuden suurin hyöty on siinä, että haluttua informaatiota voidaan upottaa suoraan oikeaan kontekstiin reaali maailmassa.

Ronald Azuma (1997, 2) julkaisi laajan tutkimuksen lisätyistä todellisuudesta. Hän määritteli kolme perusominaisuutta lisätylle todellisuudelle:

- Se yhdistää todellisuuden ja virtuaalisuuden.
- Se toimii vuorovaikutteisesti ja reaaliajassa.
- Se kohdistaa todelliset ja virtuaaliset objektit toistensa kanssa kolmiulotteisesti.

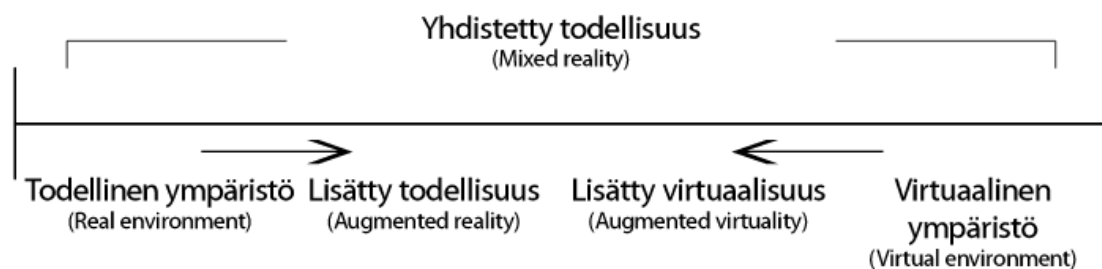
### 2.1 Historia

Lisätty todellisuus yhdistää sekä varhaista simulaatioteknologiaa että virtuaalitodellisuuden (VR Virtual Reality) ensimmäisiä tietokonesovelluksia. Simulaatioteknologiasta periytyvää teknologiaa ovat mm. lasipinnalle heijastetut HUD (Heads Up Display) -näytöt, virtuaali maailmoista taas tietokoneella tuotetut audiovisuaaliset keinotekoiset ympäristöt. Teknologiana lisätty todellisuus ei ole

mitään uutta — sen historian voidaan nähdä alkaneen jo 1950–60 -luvuilla, ja taustalla olevien ideoiden voidaan nähdä syntyneen jo 1900-luvun alussa. (Carmigniani & Furht 2011, 4.)

Lisätty todellisuus kehittyi aluksi lentokoneteollisuudessa ja sotilasilmailun parissa. Sen tarkoituksena oli auttaa käyttäjää suorittamaan monimutkaisia tehtäviä tai esittämään laajoja tietoaaineistoja käyttäjälle mielekkäällä tavalla. Monimutkaisten johdotusten tekeminen lentokoneen asennusvaiheessa tai taistelutilanteen visualisointi lentäjälle voitiin lisätyn todellisuuden teknologialla esittää yhdistämällä virtuaalisia malleja projisoituna todelliseen ympäristöön.

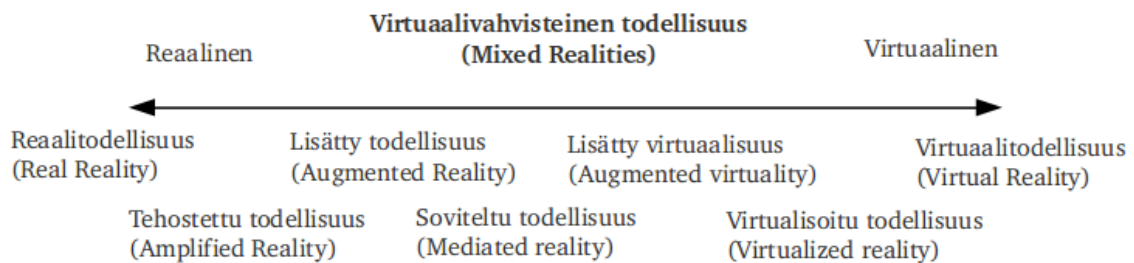
Lisättyä todellisuutta hyödyntäviä sovelluksia on luotu jo 1960-luvulta lähtien, esimerkkinä Heiligen Sensorama, mutta vasta 1990-luvulla lisätty todellisuus -tutkimus eriytyi virtuaalitodellisuuden tutkimuksesta, kun Milgram ja Azuma julkaisivat lisätty todellisuus -tutkimuksensa. Vuonna 1994 Paul Milgram julkaisi kuviossa 3 esitetyn ehdotuksensa 'todellisuus–virtuaalisuus-jatkumosta' (Reality-Virtuality Continuum), jossa lisätty todellisuus määriteltiin osaksi yhdistettyä todellisuutta. (Milgram, Takemura, Utsumi & Kishino 1994, luku 2.) Tässä jatkumossa todellisuus ja virtuaalitodellisuus ajatellaan yhden jatkumon ääripäinä sen sijaan, että ne olisivat toistensa vastakohtia. Kuvasta näkee, että lisätyn todellisuuden oletetaan olevan lähempänä todellista ympäristöä kuin virtuaalista, koska siinä todelliseen ympäristöön lisätään virtuaalista dataa. Lisätyssä virtuaalisuudessa (Augmented Virtuality) todellisia objekteja lisätään virtuaalitodellisuuteen, joten se on lähempänä jatkumon oikeaa laitaa. Kaikista jatkumon ääripäiden välissä olevista todellisuuksista käytetään termiä yhdistetty todellisuus (Mixed Reality).



KUVIO 3. Yksinkertaistettu esitys Milgramin todellisuus-virtuaalisuus-jatkumosta (Wikipedia 2012, viitattu 20.12.2015)

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

Schnabel lisäsi jatkumolle (kuvio 4) vielä kolme todellisuutta: tehostettu todellisuus (Amplified Reality), soviteltu todellisuus (Mediated Reality) ja virtualisoitu todellisuus (Virtualized Reality). Esimerkiksi sovitellussa todellisuudessa todellista ympäristöä voidaan muokata tietokoneavusteisesti objektien lisäämisen ohella myös poistamalla niitä tai muuttamalla niitä jollakin muulla tavalla (sisustus suunnittelijat voivat poistaa huoneesta esimerkiksi huonekaluja). (Schnabel, Wang, Seichter & Kvan 2007, 7.)



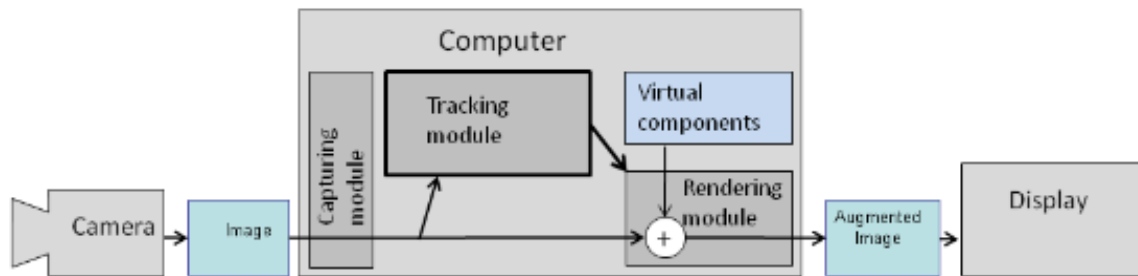
KUVIO 4. Schnabelin todellisuus-virtuaalitodellisuusjatkumo (Wikimedia 2012, viitattu 5.5.2015)

1999 Hirokazu Kato Naran tiede ja teknologiainstituutista julkaisi ensimmäisen vapaasti muokattavan (open source) ARToolKit -ohjelmiston, mikä mahdollisti lisätyn todellisuuden ohjelmien tekemisen eri sovellusalustoille. Tämän avulla videokuvaan ja kameran liikkeeseen voitiin liittää virtuaalisia interaktiivisesti toimivia objekteja. Vuonna 2008 tehtiin ensimmäiset lisätyn todellisuuden matkapuhelinsovellukset G1 Android älypuhelimeen. (Opetushallitus 2013, viitattu 7.5.2016.)

Lisätyn todellisuuden tuottaminen helpottui vuonna 2009, kun ARToolKit muokattiin toimimaan Adobe Flash -alustalla. Tämä mahdollistaa sovellusten helpon toteuttamisen verkkoselaimen avulla. Vuonna 2013 alkoi google-lasien beetatestaus. Vasta viime vuosina tietokoneiden prosessointitehon kasvun, älypuhelimien yleistymisen ja niihin kehitettyjen lisätyn todellisuuden selainsovellusten myötä lisätty todellisuus on lyönyt itsensä läpi ja tullut kenen tahansa saataville ja yleiseen käyttöön ympäri maailmaa. Suomessakin kesällä 2016 todella suureen suosioon noussut hittipeli Pokémon GO perustuu lisätyn todellisuuden hyödyntämiseen mobiilipelissä.

## 2.2 Laitteistot ja teknologia

Kaikki lisätyn todellisuuden ohjelmistot vaativat toimiakseen tietynlaiset laitteistot. Lisätyn todellisuuden näyttöteknologia yksinkertaisimmillaan käsittää tiedonsyöttölaiteen, erilaiset sensorit, prosessorin sekä näytön. Yksinkertaisimmillaan tämä tarkoittaa kameraa, joka ottaa kuvaa todellisesta ympäristöstä (tiedonsyöttö), prosessoria, joka lisää virtuaalista dataa tämän kuvan päälle sekä näyttöä, jolta tämä muokattu kuva katsotaan (Siltanen 2012, 19). GPS, kompassi, gyroskooppi ja kiihtyvyyssanturi ovat esimerkkejä sensoreista, joita voidaan myös käyttää lisätyn todellisuuden sovelluksissa. Kuviossa 5 on esitetty yksinkertainen lisätyn todellisuuden järjestelmä.



KUVIO 5. Lisätyn todellisuuden järjestelmä (Siltanen 2012, 20)

Sieppaamismoduuli (capturing module) kaappaa kuvan kamerasta. Seurantamoduuli (tracking module) laskee oikean paikan ja suunnan virtuaalikuvalle. Renderöinti (rendering module) yhdistää alkuperäisen kuvan ja virtuaaliset komponentit lasketusta asemasta, ja näyttää tehdyn kuvan näytössä. Seurantamoduuli (Tracking module) on lisätyn todellisuuden “sydän”. Se laskee kamerasuhteellisen asennon reaaliajassa. Seurantamoduuli mahdollistaa virtuaalisten komponenttien lisäämisen osana todelliseen näkymään. Perustavanlaatuisen ero verrattuna muihin kuvankäsittelytyökaluihin on, että lisätyn todellisuuden virtuaalisia kohteita siirretään ja pyöritetään 3D-koordinaateissa 2D-koordinaattien sijasta. (Siltanen 2012, 20.)

Lisätyn todellisuuden sovellusten kehittäminen vaatii sopivan näyttölaitteen ja paikannusmenetelmän, interaktiivisuutta sekä tietokoneen ja ohjelmointitaitoja. Kaikki edellä mainitut teknologiat määrittävät sen, miten laadukkaita ja realistisia lisätyn todellisuuden sovelluksia pystytään luomaan. Lisätyn todellisuuden kannalta tärkein aisti on näkö. Uskottavan todellisen ja virtuaalisen tiedon yhdistämiseen näköaistia varten vaaditaan useita mahdollistavia teknologioita, kuten tarkka näyttö sekä tehokas katsojan ja ympäristön seuranta.

## 2.3 Näyttötekniikat

Näyttölaitteena voi toimia esimerkiksi kosketusnäyttöinen tabletti, puhelin, erillinen kypäränäyttö tai lasit. Lisätyn todellisuuden sovelluksen käyttötarkoitus ratkaisee sen, mikä mahdollisista näyttökategorioista valitaan.

Lisätty todellisuus -näyttötekniikat voidaan jakaa kolmeen pääkategoriaan (Azuma 2001, 35):

- päässä pidettävät näytöt (head worn) head mounted displays (HMD)
- kädessä pidettävät näytöt (handheld)
- projisoitavat (projective)

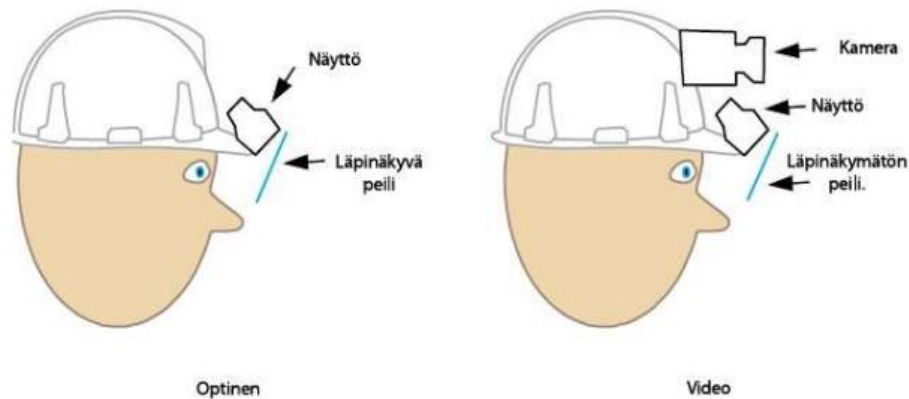
### 2.3.1 Päässä pidettävät näytöt

Puettava teknologia tarjoaa erilaisia mahdollisuuksia tuottavuuden, tehokkuuden ja laadun kehittämiseen. Päässä pidettävät näytöt voidaan jakaa kahteen alaluokkaan: optisiin eli läpinäkyviin näyttöihin ja videonäyttöihin ja niissä voi olla joko yhdelle tai kahdelle silmälle suunnattu näyttöoptiikka. Ne ovat yleensä joko kypärään tai otsapantaan kiinnitettyjä laitteita. Päässä pidettävät näytöt, joissa ei käytetä kypärää tai vastaavia laitteita ovat silmälasit, EyeTap-laite, virtuaalinen retina näyttö ja piilolinssit.

**Optisissa näytöissä** käyttäjä näkee todellisuuden läpinäkyvän pinnan (puolihopeoidun peilin) läpi ja näytöstä tuleva virtuaalinen informaatio liitetään näyttölaitteesta tähän pintaan.

**Videonäytöt** vaativat kameran ja näytön. Videonäytöissä todellisuus kuvataan päässä pidettävän kameran läpi ja videoinformaatio liitetään virtuaaliseen informaatioon ennen sen esittämistä käyttäjälle näytön kautta. Kuviossa 6 on esitetty pääperiaate päässä pidettävistä näytöistä.

Optinen järjestelmä antaa luonnollisemman kuvan kuin videojärjestelmä, mutta reaaliaikaisuus aiheuttaa usein viiveongelmia. Videojärjestelmä voidaan synkronoida paremmin kuin optinen, koska kuvattu todellinen maailma ja virtuaalinen informaatio yhdistetään ennen kuin ne syötetään läpinäkymättömään peiliin. (Carmigniani & Furht 2011, 10, 13.)



KUVIO 6. Optinen ja videonäyttö (Suhonen 2010, 21)

Optinen näyttö on parempi esittämään todellisuuden kuvan, koska kuvaa ei käsitellä mitenkään tai esitetä näytöstä, jonka erottelukyky ei vastaa silmän erottelukykyä. Näyttö säilyttää myös silmien syvyysvaikutelman muuttumattomana, kun taas videonäytöissä syvyysvaikutelma on toteutettava stereonäyttöjen avulla. Stereonäytöissä on molemmille silmille oma näyttö sekä oma kamera, jotka kuvaavat todellisuutta samoilta paikoilta kuin silmät luoden syvyysvaikutelman. Optinen näyttö on taas huonompi todellisuuden ja virtuaalisen informaation yhdistämisessä uskottavasti, koska virtuaalista informaatiota ei saada esitettyä niin, että se peittäisi kokonaan todellisen näkymän. Tällöin seurauksena voi olla haamukuvamainen vaikutelma, joka voi haitata informaation havaittavuutta. On myös tapauksia, joissa virtuaalinen tieto, esimerkiksi suunniteltavan rakennuksen 3D-malli, tulisi limittää todellisten objektien väliin. Tällaisen limityksen toteuttaminen on vielä tällä hetkellä vaikeaa optisilla näytöillä. (Kiyokawa, Billingham, Campbell & Woods 2003, luku 1.)

Optisten näyttöjen on lisäksi tehtävä jokaiselle käyttäjälle erikseen aikaa vievä kalibrointi. Kalibrointia tarvitaan, jotta virtuaalinen informaatio saataisiin kohdistettua tarkasti todelliseen näkymään. Optiset näytöt täytyy kalibroida joka kerta, kun ne otetaan pois ja laitetaan takaisin päähän tai, kun näytön etäisyys käyttäjän silmiin muuttuu. Videonäytöt eivät vaadi käytön alussa tehtävän kalibroinnin jälkeen kalibrointia, ja ne pystyvät esittämään virtuaalisen informaation yhdistettynä todelliseen informaatioon yhtenäisellä kirkkausasteella. Videonäytöt mahdollistavat myös virtuaalisten ja todellisten objektien limityksen riippuen siitä, mahdollistaako muu järjestelmä sen. Ne mahdollistavat myös erilaisten kameroiden, kuten yönäkö- tai lämpökameran, käytön todellisuuden kuvaukseen. Videonäyttöjen ongelma on niiden tarjoaman näkökentän kapeus. Molempien näyttötyyppien ongelmana on usein niiden suuri koko ja paino, mutta kehitys etenee nopeasti kohti pieniä ja kevyitä näyttöjä.

## Projektionäyttö

(Head-Mounted Projector Display) on esimerkiksi kypärään kiinnitetty projektori ja projektoriin syötetty informaatio nähdään suuntaamalla katse johonkin lähistöllä sijaitsevaan takaisin heijastavaan pintaan. Tässä sovelluksessa ei ole mitään kasvojen eteen asennettua laitetta.

## Älylasit

Älylasit ovat kasvoille puettava tietokone, joka tuottaa informaatiota käyttäjän näkökenttään. Näkökenttään välittyy kuva todellisesta ympäristöstä, jossa voi olla mukana myös tietokoneella tehtyjä hologrammeja ja informaatiota.

Älylaseissa käytetään yleisimmin kahta teknologiaa, joita ovat video see-through- (VST) ja optical see-through -näytöt (OST). Kuten lisätyn todellisuuden mobiilisovelluksissa, VST-näytöltä katsotaan videokuvaa, johon lisätään virtuaalista sisältöä. Sitä vastoin OST-näyttö on osittain läpinäkyvä ja virtuaalisen ja fyysisen sisällön yhdistäminen tapahtuu tietokoneen ruudun sijaan käyttäjän verkkalvolla. (Grubert & Grasset 2013, 7–8.)

Turvallisuuden kannalta teollisuus käyttöön suunnatuissa sovelluksissa on syytä käyttää optista näyttötekniikkaa, sillä videokuvan hävitessä yhtäkkisesti esimerkiksi teknisen vian vuoksi, käyttäjä ei pysty näkemään lainkaan ympäristöään. Markkinoilla on tällä hetkellä useita hieman eri tarkoituksiin soveltuvia älylaseja. Fyysisesti lasit eroavat toisistaan sen osalta, näytetäänkö virtuaaliset objektit vain toiselle vai kummallekin silmälle. Lasien välillä on myös eroja näkökentän suuruuden osalta. Suurin osa älylaseista toimii Android-käyttöjärjestelmällä ja ne sisältävät käytännössä samat toiminnollisuudet ja käyttöjärjestelmäpalvelut kuin Android-käyttöjärjestelmää käyttävät matkapuhelimet. Lisätyn todellisuuden prosessikuvauksessa määriteltyinä data lähteinä laseissa voidaan käyttää erilaisia sensoreita sekä kamerakuvaa, mutta syvyysensoria ei ole yhdessäkään tällä hetkellä saatavilla olevassa laitteessa. Älylasien ohjaamiseen ei ole standardoitua tapaa, joten laitteiden välillä on myös tämän ominaisuuden suhteen eroja. Osassa laitteita käskyjä annetaan lasien sankaan sijoitetun ohjauslevyn avulla ja osassa ohjauslevy on erillinen kädessä pidettävä laite. Tämän lisäksi osassa laseista on mahdollista käyttää ääniohjausta. (Dobrev 2015, 27, 29.)

Lisätty todellisuus lyö itsensä ensiksi läpi teollisuudessa - teollinen työ tulee muuttumaan. Teollisuudessa suojalasien ja kypärien käyttö on jo arkipäivää. Näihin varusteisiin on helppo lisätä älylasit, jotka antavat työntekijälle vaikkapa visuaalisia kokoonpano-ohjeita. Älylasit hyödyntävät tarkasti paikkatietoa, kun katseen suuntaa käännetään, myös lisätyn todellisuuden näkymä muuttuu.

Suuret yritykset kuten Google, Microsoft ja Qualcomm ovat satsanneet huomattavasti rahaa lisätyn todellisuuden tulevaisuuteen. Nettiyhtiö Google lanseerasi keväällä 2012 jo oikean tuotteenkin (Google Glass), mutta veti sen pois myynnistä ja palasi takaisin kehitystyöhön. Microsoft kehittää HoloLens-älylaseja. Qualcomm optimoi valmistamiaan mobiililaitteiden järjestelmäpiirejä lisättyä todellisuutta silmällä pitäen, sekä kehitti Vuforia-työkalun lisätyn todellisuuden sovellusten tuottamiseen. Myös Apple on osoittanut kiinnostusta aiheeseen ostamalla lisätyn todellisuuden yhtiö Metaion. Lisäksi on useita pienempiä yrityksiä kehittämässä omia älylasejaan, joista lupaavimpia ovat CastAR ja Magic Leap.

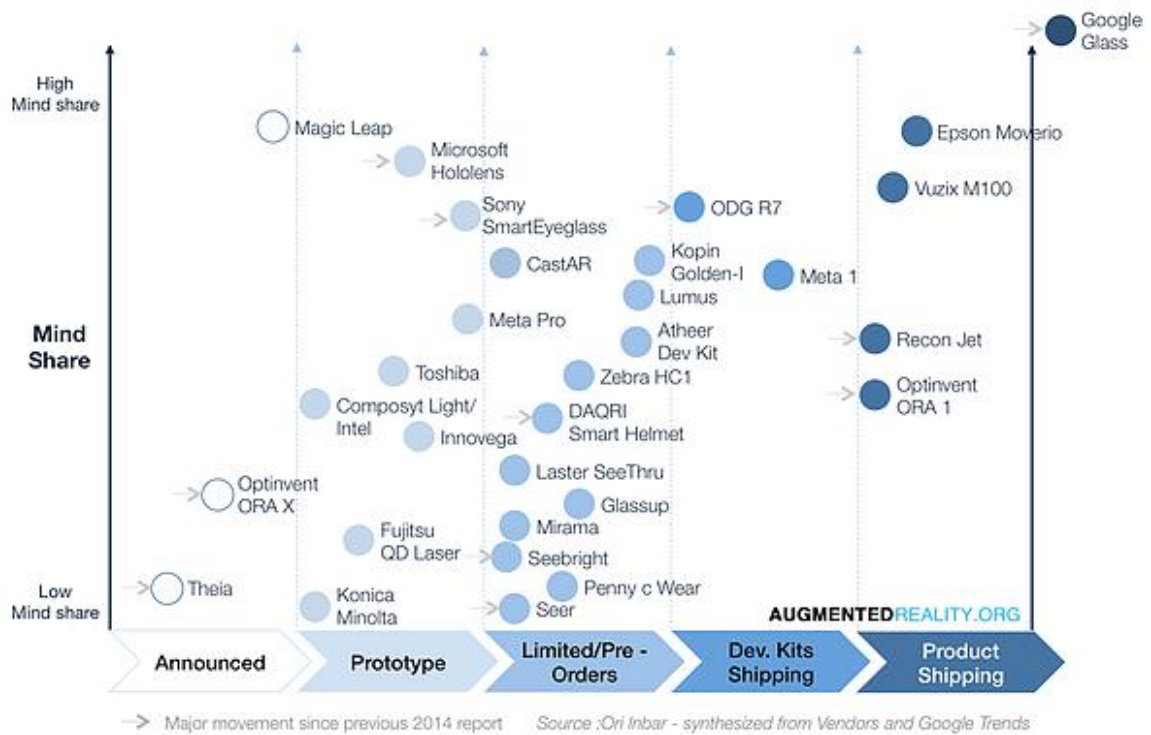
VTT:n työntekijöiden perustama spin-off -yritys Dispelix Oy kaupallistaa VTT:n tutkimuslaitoksella kehitetyn näytön, joka tuo visuaalisen informaation suoraan teräväpiirtokuvana käyttäjän näkökenttään osaksi silmälasien linssiä (kuvio 7). Tämä mahdollistaa sen, että älylasit voivat korvata jopa älypuhelimien tai tabletin säilyttäen samalla näkymän ympäröivään maailmaan. Valojohdeoptiikan ansiosta joko lasille tai muoville tehtävät näytöt ovat ohuita. Myös keveys, esteettinen ulkonäkö ja massavalmistettavuus ovat Dispelixin ratkaisun vahvuuksia. Näytön käyttäjäystävällisyyttä lisää se, että virtuaalinen kuva muodostuu käyttäjän kaukokenttään, jolloin käyttäjän silmät eivät väsy. Virtuaalikuvan koko vastaa 60 tuuman TV:tä kolmen metrin etäisyydeltä katseltuna. Ydinteknologia Dispelixin tapauksessa tulee VTT:ltä ja sillä on myös patentti läpinäkyvään näyttöön. Innovaation vahvuuksia ovat edullisuus ja toimitusten joustavuus. Dispelix toimittaa luotua optista teknologiaa erilaisia laseja valmistaville yrityksille ja ensimmäiset asiakastoimitukset on tarkoitus aloittaa vuoden 2016 aikana. (VTT 2015, viitattu 15.5.2016; Yle 2016, viitattu 15.5.2016.)





KUVIO 7. VTT:n kehittämä uusi näyttöteknologia (VTT 2015, viitattu 15.5.2016)

Kuviossa 8 on esitetty eri valmistajien älylasien kehitystä vuodelta 2015. Useita älylasimalleja on tulossa markkinoille lähivuosina.



KUVIO 8. Älylasimarkkinat 2015 (AUGMENTEDREALITY.ORG, 2015, viitattu 15.5.2016)

Seuraavassa kuviossa (kuvio 9) on eri valmistajien älylasimalleja.



KUVIO 9. Älylasimalleja (AUGMENTEDREALITY.ORG, 2015, viitattu 15.5.2016)

### EyeTap-laite

Yksi muunnelmä silmälasityyppisestä teknologiasta on ns. EyeTap-laite. Steve Mannin kehittämässä järjestelmässä käyttäjän silmä toimii sekä näyttönä että kamerana. EyeTap-laite käyttää valonsäteenjakajaa ja lähettää käyttäjän näkemän kuvan sekä silmään että kameraan. Kamera digitalisoi heijastuneen kuvan ja lähettää sen tietokoneeseen, joka prosessoi kuvan ja lähettää sen projektoriin. Lopuksi projektori lähettää kuvan toiselle puolelle säteenjakajaa, jolloin tietokoneella luotu kuva yhdistetään alkuperäiseen kuvaan. Järjestelmää voidaan käyttää joko yhdellä tai kahdella silmällä. Kuviossa 10 on yhden silmän järjestelmä.



KUVIO 10. Eye Tap näyttö (Wikipedia 2015, viitattu 8.5.2016)

### Virtuaalinen retina-näyttö

Virtuaalisessa (Virtual Retinal Display) retina-näytössä matalatehoinen laservalo skannataan suoraan käyttäjän verkkokalvolle (kuvio 11). Tämän järjestelmän etuina ovat suurempi resoluutio ja kontrasti, sekä kirkkaus ja pieni tehonkulutus. Järjestelmä sisältää elektroniikkaosion, mikä muuntaa syötetyn kuva- tai videotiedoston digitaalseksi pulssijonoksi. Tämä pulssijono moduloidaan ja syötetään skannausosioon, jossa vaaka- ja pystysuorat peilit skannaavat lasersäteen pikselirivi kerrallaan niin, että alkuperäinen kuva saadaan muodostettua. Tämän jälkeen kuva menee yleensä ns. pupillin laajentajaan, jossa se suurennetaan ja heijastetaan verkkokalvolle. Lopuksi ohjaus-elektroniikka synkronoi skannerit syötetyn signaalin kanssa niin, että stabiili kuva saavutetaan. Virtuaalista retina-näyttöä käytetään yleensä silmälaseissa, mutta sitä voidaan käyttää myös kypärässä, sovelluksesta riippuen. (Virta 2013, 24.)



KUVIO 11. Virtuaalinen retina-näyttö (Cnet 2013, viitattu 8.5.2016)

## Piilolinssit

Piilolinssit ovat lähitulevaisuudessa yleistävä näyttötekniikka lisätyn todellisuuden teknologian kentällä. IOptik-piilolinssissä on kaksi erilaista kohdistuslinssiä. Toinen linssi kohdistaa etualalla olevan valon (syötetyn informaation) silmän pupillin keskiosaan ja toinen taka-alalla olevan valon (reaalimaailman) pupillin reunaosaan. Tällä tavalla kaksi keskitettyä kuvaa saapuu verkkokalvolle samanaikaisesti, jolloin aivoilla ei ole vaikeuksia prosessoida tätä samanaikaista informaatiota.

Eteläkorealainen Samsung on kehittänyt edelleen jo syyskuussa 2014 patentoimiaan älypiilolinssijä (kuvio 12). Nyt niihin on onnistuttu pakkaamaan muun muassa kamera, liikeanturi, lähetin ja näyttöyksikkö, tekniikkaa kehitellään myös useissa muissa yhtiöissä. (Softpedia 2016, viitattu 7.5.2016.)

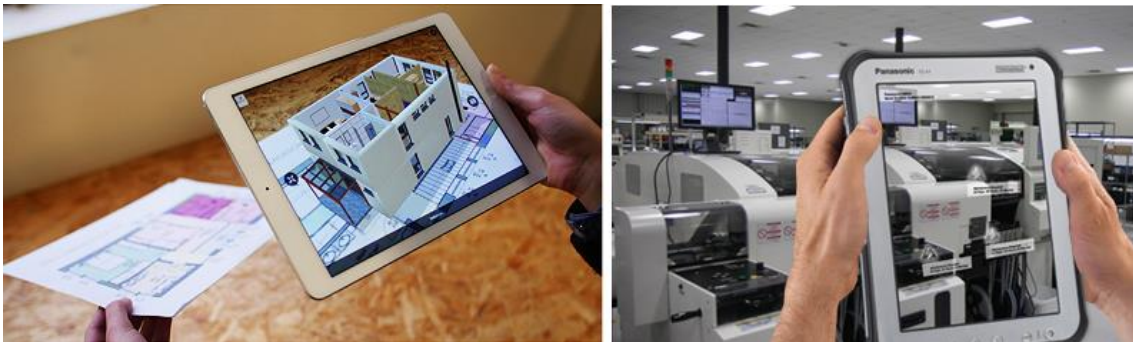


*KUVIO 12. Samsung piilolasit (Techworm 2016, viitattu 8.5.2016)*

Hurjissa tieteiskuvitelmissa ihmissilmän verkkokalvolle asennetaan implantti, johon voidaan suoraan välittää virtuaalista informaatiota. On myös ehdotettu, että tekniikan kehittyessä lisätyn todellisuuden näyttö voitaisiin istuttaa suoraan ihmisen päähän. Vielä pidemmälle mentynä istuttaminen voitaisiin tehdä jo ihmisen syntyessä ja lopulta näyttö istutettaisiin suoraan ihmisten geeneihin. (Sung 2011, viitattu 25.9.2016.)

### 2.3.2 Kädessä pidettävät näytöt

Kädessä pidettävät näytöt ovat tällä hetkellä suosituimpia näyttölaitteita lisätyn todellisuuden teknologian saralla. Kädessä pidettävä näyttö voi olla esimerkiksi taulu-, kannettava- tai kämmentietokone (tabletti) tai älypuhelin (kuvio 13). Laitteen näytöllä esitetään kameran kautta kuvattu ympäristö täydennettynä lisätty todellisuus -informaatiolla. Älypuhelimet ja tablettitietokoneet ovat suorituskyvyiltään jo tarpeeksi tehokkaita ja sisältävät kaikki lisätyn todellisuuden teknologian vaatimat ominaisuudet (GPS, kamera, kiihtyvyyssanturit, kompassi, gyroskoopit jne.). Ne ovat myös kuluttajien kohdalla sosiaalisesti hyväksytyimpiä näyttöteknologioista ja kulkevat käyttäjän mukana, joten lisätyn todellisuuden sovellukset näille laitteille tulevat jatkuvasti lisääntymään. Huonoina puolina kädessä pidettävissä laitteissa voidaan pitää niiden melko suurta kokoa, akun lyhyttä kestoa ja sitä, että käyttäjän kädet eivät ole vapaana muulle toiminnalle, mikä estää niiden käytön useissa sovelluksissa.



KUVIO 13. Kädessä pidettäviä näyttötabletteita (Atr + com 2016; Augeri 2016, viitattu 16.5.2016)

Saattaa vaikuttaa siltä, että matkapuhelinten pienet näytöt olisivat huonoja lisätyn todellisuuden informaation esittämiseen. Hwangin ja kumppaneiden 2006 tekemässä tutkimuksessa todetaan, että käyttäjän saadessa liikuttaa ruutua vapaasti se luo uppoutumisen elämyksen, joka on verrattavissa näkymään monta kertaa suuremmalla näytöllä. Tutkimuksessa vertailtiin paikallaan olevaa 42” kokoista plasmaruutua vapaasti liikuteltavan kannettavan laitteen 6” ruutuun. Käyttäjät kokivat tässä tapauksessa uppoutumisen elämyksen yhtä suureksi. Näin voidaan olettaa, että lisätyn todellisuuden elämys katsottuna matkapuhelimen ruudulta voi olla yhtä vaikuttava kuin isolta ruudulta koettuna. (Suhonen 2010, 24, viittaa Hwang ym.)



### 2.3.3 Projektionäytöt

Kädessä pidettävien näyttöjen alalajina voidaan pitää HUD (Heads Up Display) -näyttöä. Näyttöä ei pidetä varsinaisesti kädessä, vaan se laitetaan yleensä kiinteään paikkaan ja se on käytössä lähinnä erinäisissä kulkuneuvoissa ja tiloissa, joihin se voidaan asettaa pysyvästi. Projektionäytöt ovat järjestelmiä, joissa lisättyllä materiaalilla muokattua sisältöä esitetään näytön sijaan heijastamalla se mille tahansa pinnalle. Modernit projektionäytöt ovat kokonsa puolesta hyvinkin pieniä, vain tavallisen matkapuhelimen luokkaa ja tämän vuoksi kiinnostus kannettavia videoprojektoreja kohtaan lisätyn todellisuuden näyttölaitteena on lisääntynyt.

MIT:n yliopistossa kehitetty SixthSense projektiójärjestelmä, jossa on kaulariipukseen koottuna kamera, projektori sekä peili, jotka ovat langattomasti yhteydessä taskussa kannettavaan tietokoneeseen tai älypuheliimeen. Projektori heijastaa näkyvän informaation halutulle pinnalle ja kamera tunnistaa ja seuraa käyttäjän käden liikkeitä ja fyysisiä objekteja tietokonenäköön perustuvalla tekniikalla. Älypuhelin prosessoi kameran syöttämän kuvan ja seuraa käyttäjän sormissa olevia värillisiä kohdistusmerkkejä, jolloin haluttu vuorovaikutus saavutetaan. Järjestelmää voi käyttää myös useampi henkilö samaan aikaan. (Kashyap 2012, viitattu 7.5.2016.)

Tämä sopii hyvin esimerkiksi ryhmien käyttöön, koska tarvitaan vain yksi laite, jonka heijastamaa informaatiota useat henkilöt voivat seurata samaan aikaan. Mitään erillisiä näyttöjä ei siis tarvita ja nykyaikaiset projektorit ovat jo niin pieniä, että niitä on helppo kuljettaa mukana. Heikkoutena on, että projisoivat näytöt eivät toimi kovin hyvin auringonvalossa ja tarvitsevat pinnan mihin kuva heijastetaan.

## 2.4 Tunnistus ja kohdentaminen

Yleinen ongelma lisätyn todellisuuden sovelluksissa on virtuaalisen ja todellisen informaation kohdentaminen. Todellisen ja virtuaalisen informaation täytyy olla tarkasti toisiinsa kohdistettua, jotta saadaan luotua todellisuuden mukainen näkymä. Tätä varten käytetään useita erilaisia tunnistus- ja paikannusmenetelmiä. Näillä menetelmillä yritetään selvittää kameran kulma ja sijainti kuvatussa ympäristössä. Paikannusjärjestelmät jaetaan perinteisesti kahteen eri ryhmään, **merkkipaikan-**

**nukseen ja merkittömään paikannukseen.** Useasti luotettavimman tunnistuksen saamiseksi käytetään useampia menetelmiä tai niiden yhdistelmiä. Ilman kunnollista paikannusta ja kohdentamista ei useimpia lisätyn todellisuuden sovelluksia pystytä toteuttamaan.

#### 2.4.1 Merkkipaikannus

Merkkipohjainen paikannus (marker-based tracking) on vanhempi ja yksinkertaisempi menetelmä ja sopii ominaisuuksiensa perusteella lähinnä sisäkäyttöön. Merkkipaikannuksessa ympäristöön lisätään helposti havaittavia ennalta määriteltäviä merkkejä, jotka tietokonenäkö pystyy havaitsemaan. Merkki (marker) on sellainen tunnus tai kuva, jonka tietokone pystyy tunnistamaan videokuvasta käyttäen hyväksi kuvankäsittelyä, kuviontunnistusta ja tietokonenäköä. Kun merkki on tunnistettu, se määrittää sen jälkeen kameran oikean mittakaavan ja asennon.

Merkinjaljitysprosessi sisältää yleensä seuraavat osiot:

- kuvan ottaminen
  - esikäsittely
  - potentiaalisten merkkien löytäminen ja selvien ”ei-merkkien” hylkääminen
  - merkkien tunnistaminen ja dekodaus
    - Mallin sovitus (template markers)
    - Datamerkkien dekodaus (data markers)
  - merkin sijainnin ja asennon laskeminen
- (Siltanen 2012, 40–41.)

Kuvan ottaminen tarkoittaa viitekuvan tallentamista myöhempää prosessointia varten. Esikäsitellyssä tallennettu kuva voidaan kääntää helpommin tarkasteltavaan muotoon (kuten mustavalkokuvaksi), minkä jälkeen etsitään merkin rajat. Nopeassa rajauksessa poistetaan ilmiselvät ”ei-merkit” (muut esineet ja asiat kuvassa), ettei niiden myöhempi prosessointi kuormita järjestelmää. Merkit, jotka ovat liian epäselviä tai liian kaukana tarkkaa tunnistusta varten, rajataan myös pois. Tunnistus ja dekodaus pitävät sisällään malleihin perustuvien merkkien tunnistuksen ja sovituksen tietokannasta löytyvän vastaavan kanssa ja/tai datamerkin dekodauksen (esimerkkejä näistä merkki-tyypeistä kuviossa 14). Viimeiseksi lasketaan merkkien sijainti ja asento suhteessa käytettävän laitteen tai järjestelmän kameraan, jotta merkki voidaan sijoittaa oikeaan ympäristöön oikealla tavalla. (Siltanen 2012, 41.)

Aluksi järjestelmä siis ottaa kuvan ympäristöstä ja sen jälkeen kuva esikäsitellään poistamalla siitä mm. säröt ja vääristymät. Tämän jälkeen järjestelmä etsii kuvasta reunoja ja kulmia. Selvät ja epäselvät merkit hyväksytään tai hylätään, sopivat merkit tunnistetaan ja datamerkit dekodataan. Lopuksi järjestelmä laskee merkin arvioidun asennon ja sen jälkeen iteroimalla tarkan asennon, minkä jälkeen virtuaalinen objekti voidaan renderöidä paikalleen. (Siltanen 2012, 41.)

Hyvä merkki on helposti ja luotettavasti tunnistettava kaikissa olosuhteissa. Erot kirkkaudessa ovat helpommin havaittavissa kuin erot väreissä. Jotta järjestelmä pystyisi laskemaan kameran asennon havaitun merkin perusteella, tarvitsee se vähintään neljä tunnistettua pistettä. Tämän takia monet merkkijärjestelmät käyttävät mustavalkoisia ja neliönmuotoisia merkkejä. Tyypilliset merkit joita käytetään, ovat yleensä selkeitä kuvioita (template markers) tai 2D-viivakoodimerkkejä, jotka voivat olla myös ympyrän muotoisia. Joissakin sovelluksissa vaaditaan huomaamattomia merkkejä, joten on mahdollista tehdä niistä joko niin pieniä, ettei ihmissilmä niitä erota, käyttää infrapunavaloa, tai sulauttaa ne ympäristöön niin, ettei niihin kiinnitä huomiota. (Siltanen 2012, 57, 79.)



KUVIO 14. Erilaisia markkeri merkkejä (Siltanen 2012, 46)

Siltanen (2012, 83–87) esittää julkaisussaan 10 syytä käyttää merkkiperusteista paikannusta:

1. Seuranta haastavassa ympäristössä
2. Oikean asteikon ja koordinaatin hankkiminen
3. Ympäristössä on paljon liikkuvia kohteita
4. Tarvitaan lisätietoa
5. Hybridimenetelmä
6. Tehokkuus
7. Ympäristö sisältää merkkejä
8. Käytössä laitteisto, jossa rajallinen laskentakapasiteetti ja muisti
9. Vuorovaikutus käyttäjän kanssa
10. Virtuaalisen tiedon merkintä



## 2.4.2 Merkitön paikannus

Merkitön paikannus (markerless/ feature-based tracking) on monimutkaisempi menetelmä ja vaatii yleensä useiden eri paikannusmenetelmien samanaikaista käyttöä toimiakseen kunnolla. Merkittömässä paikannuksessa ei käytetä mitään ylimääräisiä merkkejä, vaan ympäristössä jo alun perin olevia piirteitä, kuten reunoja, nurkkia ja rakenteita. Järjestelmä perustuu joko esiin pistävien piirteiden havaitsemiseen kuvista tai ennalta määriteltyjen 3D-mallien vastaavuuksien havaitsemiseen kuvista. Kuva, sijainti, katselusuunta yms. saadaan käytettävän laitteen ominaisuuksista (kamera, GPS, gyroskooppi jne.). Ongelma merkittömässä paikannuksessa on ympäristön objektien epä säännölliset muodot ja rakenteet. Varsinkin syvyyskoordinaatin laskeminen on ongelmallista kameran stereonäön takia. Jos paikannusympäristö on sen sijaan sisällä tai kaupungissa, on käytössä yleensä useita suorakulmioita, yhdensuuntaisia linjoja ja tasaisia pintoja, joita voidaan käyttää merkkien korvikkeena. Huonona puolena on myös se, että paikannusta ei voi käyttää silloin, jos taustakuviointi on toistuva tai yhtenäinen, kuten tiiliseinä tai yksivärinen seinä.

Paikannukseen käytettyjä menetelmiä/sovelluksia ovat muun muassa kiihtyvyyssanturi, mekaaninen ja optinen gyroskooppi, ultraäänianturi, magneetti- ja painovoimakenttätunnistimet, GPS-seuranta, kamera, RFID, infrapunakamera, kompassi sekä näiden yhdistelmät. Useimmat näistä ominaisuuksista löytyvät esimerkiksi nykyaikaisista älypuhelimista ja tablettitietokoneista. Niitä kaikkia voidaan käyttää samaan aikaan paikannuksessa ja kohdentamisessa, jolloin saavutetaan paras mahdollinen tarkkuus. Kaikki nämä yhdessä mahdollistavat laitteen asennon määrittämisen. (Carmigniani & Furth 2011, 12; Virta 2013, 29.)

### **Kiihtyvyyssanturit**

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

### **Gyroskoopit**

Gyroskooppi mittaa siihen kohdistuvia pyörimisenergioita ja päättelee näiden perusteella gyroskoopin suhteellisen suuntiman. Kuten kiihtyvyyssanturilla, ei gyroskoopillakaan voida mitata sijaintia,

joten sitä on käytettävä yhdessä toisten menetelmien kanssa. Ultraäänilähettimeä ja -vastaanottimia voidaan käyttää mittaamaan äänen "lentoaikaa", ja tämän perusteella voidaan laskea lähettimen sijainti suhteessa vastaanottimen tiedettyyn sijaintiin. Ultraäänijärjestelmän etuja ovat sen pieni koko ja häiriöttömyys. Heikkous on menetelmän riippuvuus vakiotasoisesta äänennopeudesta, jota ei pystytä määrittelemään kuin kontrolloiduissa olosuhteissa. Äänen nopeuteen vaikuttaa pääasiallisesti vallitseva lämpötila, mutta myös ilmanpaine, ilman kosteus sekä ilman pyörteisyys. Täten, jos äänennopeus vaihtelee, vaihtelee myös menetelmän tarkkuus. Muita ultraäänen ongelmia ovat energiahävikistä johtuva melko lyhyt kantomatka, ultraäänitaajuuksilla oleva taustakohina sekä järjestelmän hidas päivitysnopeus.

## **Magneettikentät**

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

## **GPS (Global Positioning System)**

GPS -järjestelmää voidaan hyödyntää käyttäjän sijainnin määrittämiseen. Järjestelmän heikkouksena on sen verrattain suuri epätarkkuus, noin 1-2 m, mutta käyttämällä esimerkiksi RTK (Real-Time Kinematic) -tekniikkaa voidaan GPS:n tarkkuutta parantaa jopa 1-2 senttimetriin. (Wikipedia, 2016b.)

## **Optinen seuranta**

Optinen seuranta perustuu tietokoneeseen liitettyyn yhteen tai useampaan kameraan, joiden avulla järjestelmä voi hahmon tunnistusta hyväksi käyttäen tunnistaa näkymästä joko erityisiä seuranta-merkkejä tai ympäristön erityispiirteitä. Ympäristön tunnistus voi perustua joko piirteiden, mallien tai aihoiden tunnistamiseen. Tätä tietoa verrataan ennalta määriteltyyn 3D-malliin tai kuva-aihioon.

Näistä saatujen tietojen perusteella pystytään päättämään käyttäjän sijainti ja suunta suhteessa ympäristöön.

## **Yhdistelmäseuranta**

Yhdistelmäseurannassa (Hybrid tracking) yhdistetään edellä esitettyjä järjestelmätekniikoita. Joihinkin lisätyn todellisuuden sovelluksiin ei riitä pelkkä tietokonenäön tarjoama seurantainformaatio, joten on kehitetty yhdistelmäkeinoja, jotka liittävät yhteen useita havaintoteknologioita. Ulkoilmaan soveltuva lisätyn todellisuuden järjestelmän seuranta voisi perustua esimerkiksi GPS-järjestelmään, kiihtyvyyssantureihin sekä tietokonenäköön (Azuma, Hoff, Neely, Sarfaty & Daily 1998, 3). Sisätiloissa taas GPS-signaali todennäköisesti korvattaisiin esimerkiksi mallin tunnistuksella.

Varsinkin rakentamiseen liittyvissä tehtävissä mallin tunnistusmenetelmä olisi hyvin käyttökelpoinen, kun rakennuksista tehdään kuitenkin yleisesti 3D-mallit ennen rakentamista.

Virtuaalisen sisällön sijainnin määrittämistä suhteessa fyysiseen maailmaan kutsutaan seurannaksi (tracking). (Kallio 2015, 9, viittaa Cushnan & El Habbak). Kameraa käyttävät tunnistusalgoritmit perustuvat tietynlaisen kohteen seuraamiseen. Erilaisia määrittyjä kohteita ovat QR-koodit, koodikehykset ja valokuvat, lisäksi on vapaammin määrittyjä kohteita kuten kasvot, rakennusten siluetit tai värit. (Kallio 2015, 9.)

## **2.5 Visualisointi**

Jotta virtuaalinen informaatio saataisiin upotettua uskottavasti todelliseen näkymään, täytyy informaatio visualisoida mahdollisimman tarkasti noudattaen todellisuuden ominaisuuksia, kuten valoja, varjoja, objektien limitystä, eli toisin sanoen fotorealisticesti. Reaaliaikaisesti tuotettu todenmukainen virtuaalinen informaatio vaatii erittäin paljon laskentatehoja sitä tuottavalta järjestelmältä. Verrattain vähätehoisissa matkapuhelimissa täysin todenmukainen näkymä on vielä haave, mutta VTT on tehnyt tutkimusta todellisen valaistuksen ja varjojen sovittamisesta virtuaaliseen objektiin varsin onnistuneesti. (Aittala 2010, 669–678.)

## 2.6 Interaktio ja vuorovaikutus

Jotta käyttöliittymät olisivat intuitiivisia ja helppokäyttöisiä, tulee myös käyttäjän interaktioon virtuaalisen tiedon kanssa kehittää mahdollistavaa teknologiaa. Vuorovaikutus käyttäjän ja tietokoneen välillä lisätyn todellisuuden sovelluksissa voidaan toteuttaa useilla eri tavoilla.

Perinteisesti interaktio toteutetaan tietokoneen näppäimistön ja hiiren avulla. Kosketusnäytöt kämmenessä pidettävissä näytöissä kuten älypuhelimissa ja tablettitietokoneissa toimivat sovelluksissa, joita ei välttämättä käytetä pöydän ääressä. Osoitinkynät, hansikkaat ja muut vaatekappaleet ovat varteenotettavia vaihtoehtoja tulevaisuuden käyttöliittymissä. Ihminen on aikojen alusta lähtien viestinyt luontevasti käsillään, ja tämän vuoksi käsien liikkeitä ja eleitä totteleva käyttöliittymä olisi erinomainen tapa järjestelmien hallintaan. Useita tämän kaltaisia järjestelmiä on kehitetty jo pitkän aikaa ja muutamat niistä ovat varsin pitkälle kehittyneitä. Interaktio voidaan toteuttaa esimerkiksi erivärisillä sormiin asetettavilla seurantamerkeillä tai tätä varten kehitetyillä kosketuskäsineillä. Tämä mahdollistaa virtuaalisten objektien hallinnoimisen pelkillä käsien liikkeillä. Myös puheen- ja liikkeentunnistusjärjestelmät ovat jatkuvan tutkimuksen alaisena lisätyn todellisuuden sovellusten vuorovaikutuksen lisäämisessä. Kehittäjien tavoitteena on myös toteuttaa ylläpuettavia, itsenäisesti toimivia lisätyn todellisuuden ratkaisuja. (Avery, Smith, Piekarski & Thomas 2009, luku 11.3.) MIT:n Sixth Sense ja LASTER Technologies ovat kehittäneet ylläpuettavaa teknologiaa, jolloin lisätyn todellisuuden teknologiaa voidaan käyttää kaikkialla (Opetushallitus 2013, viitattu 7.5.2016).

## 2.7 Ohjelmakirjastot

Nykykaikaisten tehokkaiden tietokoneiden ansiosta lisätyn todellisuuden sovellusten luominen ei ole enää tehosta kiinni, edes mobiililaitteissa. Muutenkin lisätyn todellisuuden sovellukset vaativat tietokoneelta vähemmän suorituskykyä kuin esimerkiksi täysin virtuaaliset sovellukset, koska lisätyn todellisuudessa vain osa ympäristöstä on rakennettu tietokoneavusteisesti.

Sovellusten kehittämiseen on lisäksi tarjolla useita työkalusarjoja, ohjelmistokirjastoja ja viitekehyksiä, joiden päälle erilaisia lisätyn todellisuuden sovelluksia on mahdollista rakentaa. Lisätyn todellisuuden työkaluja voidaan jaotella sen mukaan, missä ympäristössä niitä käytetään (mobiili, PC, VT jne.), mitä alustoja ne tukevat (Windows, Linux, Symbian, iOS, Android jne.), kieli mitä ne käyttävät (C ++, Java jne.), mikä lähestymistapa on seurannassa (merkki, multi-markkeri jne.), mitä algoritmeja seurantaan käytetään (SLAM, PTAM jne.), tai mitä toiminnollisuuksia (vähenevä, vuo-

rovaikutus jne.) käytetään. Lisäksi käytettyjen työkalujen valintaan voivat vaikuttaa myös muut näkökohdat eli kuinka hyvin työkalu tunnetaan, kuinka helppoa sitä on käyttää, mitä kolmannen osapuolen kirjastoja ne vaativat yms.

Lisätyn todellisuuden sovelluksia varten on kehitetty useita ominaisuuksiltaan vaihtelevia ohjelmakirjastoja. Kaupallisia ohjelmistoja on olemassa muutamia, joilla voi tehdä omia lisätyn todellisuuden sovelluksia ilman ohjelmointitaitoja. Vapaan lähdekoodin ohjelmakirjastoilla käyttäjä voi luoda omia lisätyn todellisuuden sovelluksia, mutta kirjastot vaativat C++ tai muun ohjelmointikielen käytön osaamista. Osa kirjastoista sisältää vain seurantaan soveltuvia komponentteja, jolloin ohjelmoijan on itse kerättävä tarvittava data esimerkiksi käyttöjärjestelmän tarjoamista rajapinnoista. Kirjastojen ominaisuudet vaihtelevat laitteistotuen, seurantatekniikoiden ja -algoritmien osalta.

### **2.7.1 ARToolkit**

Vuonna 1999 Hirokazu Kato ja Mark Billinghurst julkaisivat lisätyn todellisuuden ohjelmistokehitystä varten ARToolkit nimisen ohjelmakirjaston. Se on edelleenkin ehkä tunnetuin ja käytetyin työkalu lisätyn todellisuuden sovellusten luomisessa. ARToolKit on avoimen lähdekoodin kirjasto, joka antaa kehittäjälle mahdollisuuden tunnistaa erilaisia neliömäisiä kuvioita useista eri suunnista. Näiden kuvioiden päälle ohjelmoidut mallit liikkuvat ja kääntyvät alustansa mukana ja antavat näin ollen vaikutelman niiden kuulumisesta alkuperäisesti kuvattuun ympäristöön. (Kato & Billinghurst 1999, viitattu 5.12.2016; Opetushallitus 2013, viitattu 7.5.2016.) Merkkipaikannusta tukevalla ARToolKit:illa on myös versiot esimerkiksi Flashille ja Silverlightille (FLARToolKit ja SLARToolKit) (Kashyap 2012, viitattu 7.5.2016).

### **2.7.2 ALVAR**

ALVAR (A Library for Virtual and Augmented Reality) on suomalaisen VTT:n kehittämä ohjelmakirjasto. VTT käytti myös aluksi ARToolKit-kirjastoa, mutta kehitti samanaikaisesti omaa ALVAR-kirjastoaan. ALVAR tarjoaa alustan ja ohjelmistokirjaston sekä virtuaalisen että lisätyn todellisuuden sovelluskehitykseen. Kirjastoon on koottu markkeripohjaisia kameraseurantaan liittyviä toiminallisuuksia. Myös kehittyneempi, markkeriton 3D-kameraseurantateknologia on käytettävissä ALVAR SDK -aliohjelmakirjaston kautta. Tällä avoimen lähdekoodin aliohjelmakirjastolla on tuhansia käyttäjiä eri puolilla maailmaa, kuten esimerkiksi ROS- ja Goblin XNA -yhteisöissä.

ALVAR-ohjelmakirjaston avulla voidaan toteuttaa entistä parempia lisätyn todellisuuden ja virtuaalitodellisuuden sovelluksia. Toteutukset ovat olleet alansa tehokkaimpia (nopeus, tarkkuus) maailmassa. Se on kaupallisesti lisensoitu kansainvälisille asiakkaille. (VTT 2016a; VTT 2016b, viitattu 7.5.2016.)

ALVAR tukee monia eri alustoja PC- ja mobiiliympäristöissä. ALVAR toimii Windows- ja Linux-käyttöjärjestelmissä sekä eri mobiililaitteissa ja käyttää kolmannen osapuolen kirjastoista ainoastaan OpenCV (Open Source Computer Vision Library) -ohjelmakirjastoa tietokonenäön luomisessa. ALVARin on joustava ja taipuu useampaan käyttötarkoitukseen. Se mahdollistaa muun muassa virtuaalivahvisteiset videokonferenssit, ja on yhteensopiva Applen, Androidin ja Symbianin kamerallisten puhelinten kanssa. Tutkimusta on tehty paljon myös kannettavilla laitteilla käytettävien lisätyn todellisuuden sovellusten alueella. (VTT 2016b, viitattu 7.5.2016.)

ARToolkit:n ja ARVAR:n lisäksi muita tunnettuja lisätyn todellisuuden kirjastoja ovat mm. Vuforia, Metaio, Layar ja, ARPASKD ja CrafAR.

## **2.8 Sovellusalueet – kokoonpano**

Vaikka lisätty todellisuus on teknologiana suhteellisen tuoretta, sillä on jo oikeita käyttökohteita ja sitä nähdään lähes kaikilla aloilla. Suurimpia tutkimusalueita ovat lääketiede, viihdeteollisuus ja sotateollisuus. Nykyisin lisätyn todellisuuden sovellusalueita löytyy erityisesti viihteen, kiinteistökaupan, matkailun, mainonnan, koulutuksen, arkkitehtuurin, lääketieteen, taiteen, mainonnan, turismin, autoteollisuuden ja sosiaalisen median kentällä. Lisättyä todellisuutta on käytetty jopa fobioiden hoitoon ja esimerkiksi tehdashalleissa on kokoonpanolinjoilla hyödynnetty lisättyä todellisuutta. Jopa lisätyn todellisuuden kirjoja on olemassa. Lisätyn todellisuuden ratkaisut ovat lähes kaikki yksittäiseen käyttökohteeseen räätälöityjä. Lisätty todellisuus on jo vuosien ajan ollut mukana alati kasvavassa teknologioiden kehityksessä, mutta saanut aino harppauksen etenkin viime vuosien aikana (Rokka 2015, 5). Tässä tutkimuksessa on perehdytty lisätyn todellisuuden käyttöön kokoonpanolinjan kannalta, joten muita käyttökohteita ei ole työssä syvällisemmin käsitelty.

Yksinkertaisuudessaan kokoonpano on standardikomponenttien, osien ja tarvikkeiden liittämistä toisiinsa siten, että tuloksena on toimiva tuote. Yleensä tuotteessa voi olla osakokoonpanoja, joista muodostuu osakokonaisuuksia. Loppukokoonpanossa osakokoonpanot ja muut osat, tarvikkeet ja komponentit liitetään toisiinsa valmiiksi lopputuotteeksi. (Haag ym. 2011, 11.)

Komponenttien ja piirilevyjen valmistus tehdään tyypillisesti koneellisesti. Komponenttilevyjen kokoonpanossa komponentit juotetaan käsityökaluin tai koneellisesti piirilevyyn, joka toimii sähköisten komponenttien rakennealustana. Juotoksella komponentit yhdistetään toisiinsa, päämenetelmiä ovat sulatusjuottaminen ja aaltojuottaminen. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2016, viitattu 24.9.2016.)

Varsinainen kokoonpanotyö on yleensä käsityötä, koska automatisoidulla kokoonpanotyöllä ei pystytä eikä kannata valmistaa tuotetta kokonaan. Tuotteen kokonaiskustannuksista osakokoonpanon osuus on usein suurin, koska kokoonpano vaatii kalliita henkilöstöresursseja. Osien valmistusaikaa on pyritty minimoimaan nykyaikaisilla valmistusmenetelmillä ja pyritty saamaan kustannuksia suhteessa vähäisiksi, mutta kokoonpanoon kuluva aika ei ole vielä pystytty minimoimaan yhtä tehokkaasti, joten kokoonpanosta aiheutuvat kustannukset ovat suuria. (Haag ym. 2011, 11.)

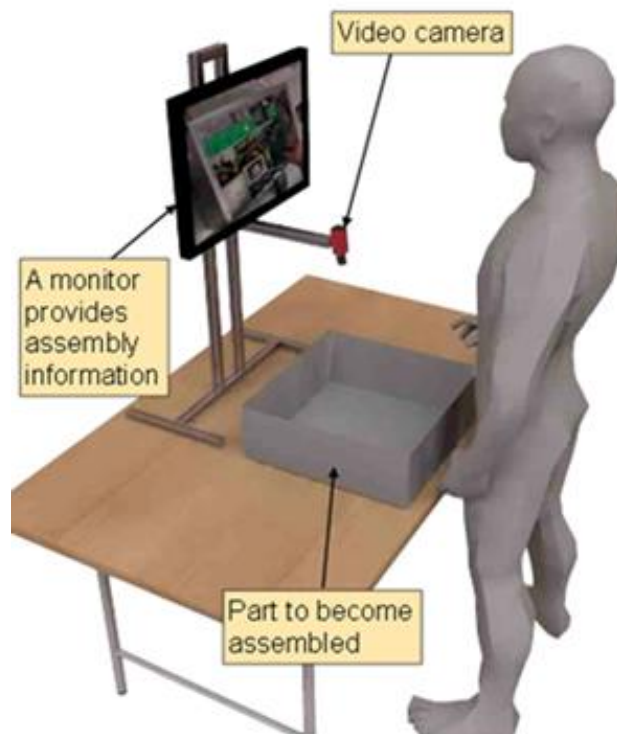
Tuote voidaan saada toimivaksi kokonaisuudeksi myös heikkolaatuisilla osilla. Sen sijaan, vaikka kokoonpanossa käytettäisiin laadukkaita ja hyviä osia, voidaan osat pilata huonolla kokoonpanolla. Ongelmana on, ettei siis ole aivan yksikäsitteistä, miten ja mistä tuotteen laatu syntyy. Kokoonpanolla kuitenkin ratkaistaan tuotteen lopullinen laatu, joten oikealla kokoonpanolla saadaan tuotteesta laadukas ja toimiva. (Haag ym. 2011, 12.)

Kokoonpanossa valmistusohjeistuksen pitää kuvata työn tehtävää ja työnjärjestystä sekä sitä, mitä työkaluja kokoonpanon valmistuksessa käytetään. Työohjeiden tarkoituksena on auttaa työntekijää minimoimaan työhön kuluva opettelu-aika. Työohjeiden luominen, jakaminen ja ylläpito tulee olla taloudellisesti edullisia. Tärkein osa ohjeistuksissa ovat visuaaliset ohjeet, kuten 3D-mallit, valokuvat ja piirustukset. Visualisoimalla työohjeita esimerkiksi kokoonpanossa työntekijä näkee, mihin kohtaan, missä asennossa ja millä tavalla kiinnitettynä seuraavaksi asennettavan osan tai osakokoonpanon tulee olla. (Haag ym. 2011, 14.)

**Ohjaava kokoonpano** (Augmented Assembly) lisätyn todellisuuden avulla soveltuu teknologiana opastusjärjestelmien toteutukseen. Lisätyn todellisuuden järjestelmät mahdollistavat erittäin havainnollisen tiedon visualisoinnin ja sen ansiosta kokoonpanotyö tehostuu. Kokoonpanijat voivat keskittyä itse työhön eivätkä siihen, mitä seuraavaksi pitäisi tehdä ja mitä kaikkea asennustyössä olisi huomioitava. Lisätty todellisuus on teknologiana erittäin visuaalista ja tehokasta, ja sen avulla voidaan näyttää askel askeleelta, kuinka kokoonpano suoritetaan. Lisätyn todellisuuden ohjeissa osia ja niiden liikeratoja voidaan myös animoida. Kokoonpanijan on helpompi noudattaa visuaalisia

ohjeita ja tehdä kokoonpano aina täysin oikein. Kokoonpanomalliin lisätään työvaiheet, työohjeet ja tarvittavat työkalut. Sen jälkeen työvaiheille tehdään visualisointi lisätällä todellisuudella, minkä kokoonpanija näkee omalla näyttölaitteellaan. Tuotantoympäristössä kokoonpanoa esitetään tavallisesti 2D-kuvina ja teksteinä, joiden tulkinta vaatii ammattitaitoa ja kokemusta, mutta kokeneellekin työntekijälle saattaa sattua vääriä tulkintoja ja virheitä. Suunnitteluvaiheessa luodaan suurelta osin se informaatio, jota kokoonpanovaiheessa tarvitaan. Suunnittelun 3D-mallit ovat vähitellen siirrettävissä lisätyn todellisuuden sovelluksiin. Lisätyn todellisuuden avulla kokoonpanija saisi ohjeistuksen nykyistä huomattavasti pienemmällä vaivalla, mikä lisää työntekijän työtehtävään käytettävissä olevaa aikaa. (Salonen ym. 2009, 3,9,16.)

Kuviossa 15 on esitetty yksi lisätyn todellisuuden kokoonpanotyöpisteen järjestelmä. Kokoonpantava tuote on kokoonpanijan edessä pöydällä. Tuotteen yläpuolelle asetettu kamera kuvaa todellista ja reaaliaikaista ympäristöä, ja kokoonpanijan edessä olevalla näytöllä esitetään kameralta kuvattu ympäristö täydennettynä lisätty todellisuus -informaatiolla.



KUVIO 15. Tabletilla toteutettu lisätyn todellisuuden järjestelmä (Radkowski 2013, viitattu 29.5.2016).



Vaikka lisätyn todellisuuden teknologia on erittäin visuaalista ja tehokasta, sitä on käytetty tuotantoympäristössä hyvin vähän. Syitä on monia. Lisätyn todellisuuden laitteistot ovat olleet liian **hankalia** teollisuusympäristössä käytettäväksi ja osaltaan myös liian **kalliita**. Nykyään tarvittava prosessoriteho löytyy myös pienistä, mukana kuljetettavista laitteista ja halvat silmikkonäytöt ovat tulossa massatuotantoon. Uusia ja parempia laitteita tulee jatkuvasti markkinoille varsinkin viihde- ja peliteollisuuden panostuksen myötä, ja niiden hinnat laskevat nopeasti. Lisätyn todellisuuden tekniikka (laitteisto ja ohjelmisto) ja kustannukset ovat alentuneet tasolle, että tehdasteollisuus on alkanut etsiä sovelluksia todelliseen tehdasympäristöön. Teollisuudessa on ollut useita isoja tutkimuksia ja hyviä tuloksia. Aikaisemmin myös markkereiden peittoon jääminen aiheutti ongelmia, tällöin niitä ei voitu käyttää paikan ja orientaation laskentaan. Vaihtoehtoisia tekniikoita markkereiden käytölle on kuitenkin löydetty.

Myös itse teknologian tarkastelut ovat olennaisia. Teknologian saatavuus, toimivuus ja sovellusten laitealustat ovat tärkeitä kriteerejä, ja ne on syytä selvittää. On myös olennaista miettiä miten sovellus integroituu työhön.

Lisätyn todellisuuden ohjeiden luontia vaikeuttaa myös **sopivien ohjelmien puute**. Tilanne on kuitenkin oleellisesti muuttumassa. Lisätyn todellisuuden ohjelmistot ovat kehittyneet teollisuusympäristössä vaadittavalle tasolle (esimerkiksi Alvar/VTT, Unifeye/Metaio) ja lisätyn todellisuuden ohjeiden luontiin tarvittavia ohjelmia alkaa olla saatavilla.

Lisättyyn todellisuuteen pohjautuvien 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 lisättyyn todellisuuteen pohjautuvien 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 lisätyn todellisuuden kokoonpano-ohjeiksi on tällä hetkellä pitkälti manuaalista, samoin kuin ohjeiden päivitys. Välittämällä täsmällistä ja tarpeellista informaatiota visuaalisessa muodossa kokoonpanotyöhön vältytään 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. (Salonen ym. 2009, 9–10.)

Pitemmän ajan tavoitteena on sisällyttää lisätyn todellisuuden ohjeiden luonti ja valmistusohjeet yleensäkin osaksi suunnitteluprosessia. Tällöin ohjeet voitaisiin luoda esimerkiksi CAD-järjestelmän sisällä, ja valmiit ohjeet voisi tarvittaessa hakea vastaavasti yrityksen PLM-järjestelmästä.

Suoritetuissa testeissä (TTY ja VTT) käyttäjät ihastelivat lisätyn todellisuuden tekniikan visuaalisuutta ja ymmärrettävyyttä. Vaikeatkin asiat tuntuivat yksinkertaisemmilta ja selkeämmiltä lisätyn todellisuuden animaatioiden ansiosta. Yhteenvedona voitiin todeta, että lisätty todellisuus tehostaa kokoonpanoa näyttämällä asennettavan osan oikeassa paikassa. Tuottamaton pohdinta jää pois, kun oikea suoritusjärjestys on näkyvässä. Tutkimus osoitti, että kokoonpanoa voidaan kehittää merkittävästi lisätyn todellisuuden avulla; kokoonpano nopeutui ja virheiden määrä väheni oleellisesti. Näitä käyttäjäkokeita suoritettiin vuonna 2008. (Salonen ym. 2009, 26, 31.)

Lisätyn todellisuuden teknologian avulla voidaan luoda kulttuuri- ja kieliriippumattomia universaaleja opastusjärjestelmiä. Visualisointiohjelmat kuitenkin käyttävät omia standardejaan, eikä tiedonsiirtoa suunnittelun tietojärjestelmistä visualisointiohjelmistoihin olekaan usein tyydyttävästi ratkaistu. Tyypillisesti samat perinteiset kuvia ja tekstiä sisältävät kokoonpano-ohjeet eivät toimi sekä Suomessa että esimerkiksi Kiinassa. Kyse ei ole pelkästä tekstin kääntämisestä kielestä toiselle, vaan siitä, että eri kulttuureissa ohjeet käsitetään eri tavalla, lisätyn todellisuuden teknologia antaa kuitenkin mahdollisuuden tehostaa käsin tehtävää kokoonpanotyötä todellisessa ympäristössä tapahtuvalla uudella visuaalisuudella – työntekijä näkee seuraavaksi tehtävän työn animoituna työympäristössä. Esimerkiksi kokoonpanotyössä työntekijä näkee, mihin kohtaan, missä asennossa, ja millä tavalla kiinnitettynä seuraava osa tulee kokoonpanoon. Selittävää tekstiä ei juuri tarvita. Lopullisena tavoitteena ovat tietokonetuetut kielestä ja kulttuurista riippumattomat ohjeet.

Hendersonin tekemissä tutkimuksissa lisätyn todellisuuden työopasteiden on havaittu vähentävän pään- ja silmänliikkeitä työohjeita luettaessa verrattuna perinteisiin työohjeisiin, jotka eivät ole integroitu osaksi työkohdetta. Kyseessä on teknisesti edistyksellinen menetelmä monimutkaisen teknisen tiedon siirtämiseen erittäin käyttäjäystävällisellä tavalla. (Henderson & Feiner 2011, 1361,1367.)

## 2.9 Lisätty todellisuus ja PDM

Tyypillisesti tuotteita valmistavalla yrityksellä on PDM-/PLM-järjestelmä jossa kuvataan, millainen tuote on valmistettava. Järjestelmään on talletettu kaikki tarvittava tuotetieto (3D geometria, tuoterakenne, simulointitiedot, osavalmistussuunnitelmat, kokoonpanosuunnitelmat jne.).

Kaikilla suurilla PLM-järjestelmien toimittajilla löytyy ratkaisuja, joilla työohjeiden laadinta voidaan liittää tuoteprosessiin. Suunnittelun 3D-mallien käyttö ja versioiden tai muutosten hallinta sisältyvät järjestelmiin. Mikäli yrityksellä on käytössä PLM-järjestelmä, ja varsinkin, jos valmistuksen osaluettelo ja siihen liittyvä suunnittelu tehdään jo PLM-järjestelmässä, työohjeiden laadinta kannattaa liittää siihen. Tämä antaa mahdollisuuden hallinnoida työohjetta osana muuta tuotetietoa, jolloin ohjeiden, kuten myös muunkin dokumentaation versiointi on yhteydessä tuoterakenteisiin, niihin liittyviin 3D-/2D-kuviin sekä myös toimitettujen laitteiden versiointiin. Office-työkalujen lisäksi työohjeiden luontiin on tarjolla myös varsinaisia työohjeiden luontiohjelmistoja. Nämä ovat tyypillisesti suurten CAD-ohjelmistotalojen tuotteita ja ne on integroitu ko. ohjelmistotalon omaan PDM-/PLM-ratkaisuun. (Haag 2011, 17–18.)

Yksi haasteista lisätyn todellisuuden teknologian käytön hyödyntämiseen tuotanto teollisuudessa on olemassa olevan tuotetiedon käyttö. Tiedot pitäisi hakea PDM / PLM-järjestelmästä mahdollisimman automaattisesti. Lisätyn todellisuuden kokoonpano-ohjeet vaativat kohteen 3D-geometrian, kokoonpanojärjestyksen, animaatiopolut kullekin kokoonpanon komponentille ja mahdollisia lisäohjeita tekstimuodossa. 3D-geometriat ovat yleensä olemassa CAD-suunnittelun tuloksena. Visualisointiohjelmat käyttävät kuitenkin erilaista 3D-tiedon esitystapaa kuin teollisessa suunnittelussa käytetyt CAD-ohjelmat. Käytännössä 3D-kokoonpano-ohjeiden tuotantoon tarkoitetut ohjelmistot sisältävät myös visualisointiominaisuudet, mutta niiden käyttämät tallennusformaatit eivät ole helposti muunnettavissa visualisointiohjelmistojen ymmärtämään muotoon (Haag ym. 2011, 23–24, 35.)

Työohjeiden luontiprosessi on suunnittelun ja valmistuksen yhtymäkohdassa. Seuraavassa kuviossa (kuvio 16) on esitetty työohjeiden luontiprosessin päävaiheet, jotka ovat yhdistä, tuota sisältö ja julkaise. Ensimmäiseksi CAD-järjestelmässä luotu 3D-malli ja ERP-järjestelmän ylläpitämä tuote (perhe) kohtainen työvaihelista yhdistetään. Seuraavaksi luodaan tarvittavat animaatiot, ohjetekstit ja muut tarvittavat ohjeistuksen yksityiskohdat. Lopuksi työohjeet julkaistaan halutuissa muodoissa: HTML, PDF, AR-pohjaiset ohjeet jne. Haag ym. 2011, 22.)



KUVIO 15. Työhöjeiden luontiprosessissa eri järjestelmien tietoa kytketään työhöjeiksi (Haag ym. 2011, 23)

Lisätyn todellisuuden työkaluilla on työhöjeet mahdollista tuottaa automaattisesti ja varhaisemmassa vaiheessa. Tuotteiden useat variantit ja nopeasti muuttuvat ja monimutkaisemmat tuoterakenteet vaikuttavat myös siihen, että on tärkeää, että oikeat työhöjeistukset ovat heti saatavilla. (Sääski, Salonen, Hakkarainen, Siltanen, Woodward, & Lempiäinen 396, 400.)

Eri teknologioiden integroiminen on mahdollista, mutta vaatii edelleen usein tapauskohtaista räätälöintiä, mikä johtuu suurelta osin vaihtelevasta ohjelmistokannasta eri organisaatioissa ja edelleen järjestelmien puutteellisesta standardituesta. CAD-ohjelmistoihin sisältyviä työhöjeohjelmistoja voidaan kuitenkin kohtuullisen pienellä työllä integroida ulkopuolisiin visualisointiohjelmiin. Lisäksi standardityökalujen käyttö ohjedokumentaatioiden tuotannossa mahdollistaa sen, että samasta lisätyn todellisuuden materiaalista on tulostettavissa myös paperiohjeet. (Haag ym. 2011, 39.)

Lisätyn todellisuuteen perustuvat tuotannonohjeet vaikuttavat tiedon käsittelyjärjestelmään yrityksessä monella tavalla. Olettaessa käyttöön lisätyn todellisuuteen perustuvia kokoonpano-ohjeita on myös mietittävä mitä tietokäsittelyrakennetta ja mitä formaatteja on tarkoitus käyttää. Tässä työssä ei ole tarkoitus käydä tämän syvemmin näitä läpi.

## 2.10 Aikaisemmat tutkimukset

Lisättyä todellisuutta on jo käytössä useilla eri aloilla ja eri käyttökohteissa. Kirjallisuuden kautta näyttäisi hahmottuvan useita lupaavan oloisia lisätyn todellisuuden kohteita ja tästä saatavia hyötyjä. Sen käytöstä löytyy internetistä paljon kansainvälistä kaupallista kirjallisuutta ja tutkimusta. Saatavissa on myös useita julkaisuja ja tutkimustuloksia, joissa on lupaavaa pohdintaa mahdollisista selittävästä tekijöistä, miksi lisätty todellisuus kyseisissä käyttötarkoituksissa näyttäisi toimivan. Työohjeistukseen tehdyistä lisätyn todellisuuden järjestelmistä ei löytynyt suoranaisesti materiaalia eikä tarkempaa tietoa. Lisätyn todellisuuden kehitystä hidastanee se, että sovellukset täytyy suunnitella alusta lähtien, eikä valmiita työkaluohjelmia ole vielä suoraan saatavilla, ja jos on, ne eivät ole yleistyneet. Ohjeistuksen luomisessa voidaan osittain käyttää ja soveltaa löydettyjä menetelmiä, mitä muualla on käytössä. Seuraavassa on käyty läpi joitakin aiheeseen liittyviä tutkimuksia.

Lisätyn todellisuuden tehokkuutta tutkittiin Duplo-palikoiden kokoonpanotehtävissä 2003. Tutkimuksessa verrattiin lisätyn todellisuuden ohjeistusta perinteisiin paperi tulosteisiin ohjeisiin, tietokoneavusteisiin ohjeisiin LCD näytöltä (kannettava tietokone) ja tietokoneavusteisiin ohjeisiin käyttäen päähän asennettua näyttöä (HMD). Ohjeistus oli toteutettu kuvilla. Tulokset osoittavat, että lisätyn todellisuuden päällekkäin näkyvät 3D-ohjeet johtivat 82 %:n vähennykseen virheprosentissa. Lisätyn todellisuuden lähestymistapa oli erityisen hyödyllinen vähentämään kumulatiivisia virheitä, eli virheitä jotka johtuivat edellisissä kokoonpanovaiheissa tapahtuneissa virheistä. Tutkimuksen mukaan lisätty todellisuus parantaa huomattavasti tehtävien suorituskykyä ja voi vähentää työtehtäviä suorittavan henkilön henkistä työtaakkaa. Menetelmä tarjoaa mielekkään tavan avaruudellisten tilojen hahmottamiseen ja toimii tehokkaana työopastuksena. (Tang, Owen, Biocca & Mou 2003, 73–80.)

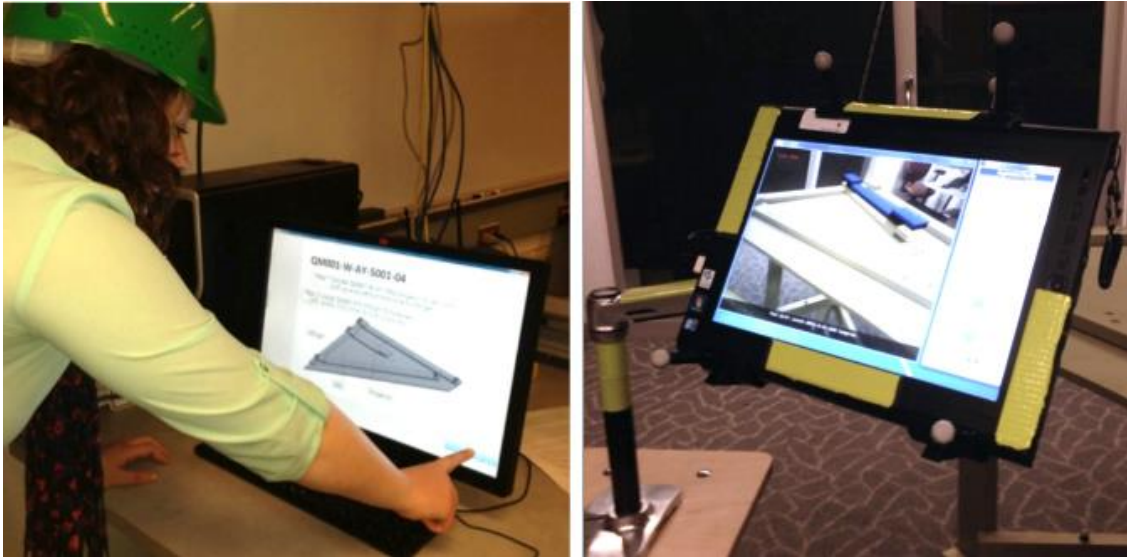
Seuraavalla sivulla olevassa kuviossa 17 on esitetty vasemman reunan pikkukuvissa eri ohjeistustavat: a) paperiohjeet b) tabletti c) HDM-näyttö d) lisätyn todellisuuden ohjeistus. Oikeassa reunassa näytetään suoritettu kokoonpanotyö kokonaisuudessaan.



KUVIO 16. Vasemmalla eri ohjeistustavat ja oikealla suoritettu kokoonpanotyö kokonaisuudessaan (Tang ym. 2003, 76)

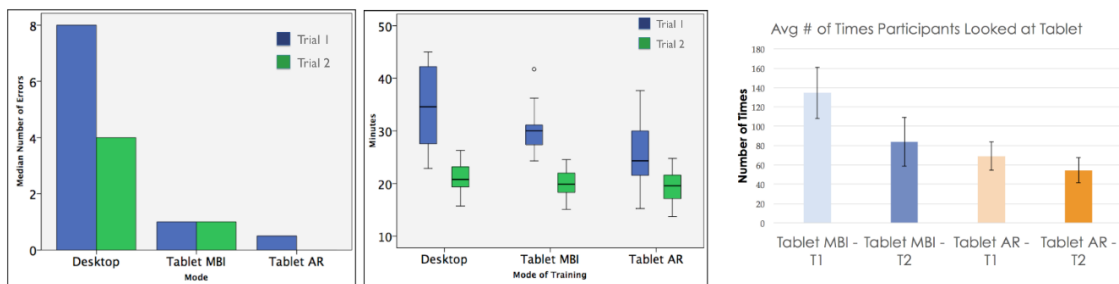
Tampereen teknillisessä yliopistossa suoritettiin keväällä 2008 opiskelijoille koe, jossa testattiin demonstraatiojärjestelmää (traktorin työhydrauliikkaventtiilin kokoonpanoa). Kokeeseen osallistui kolmen viikon aikana 89 henkilöä (74 miestä ja 15 naista). Hydrauliikkablokki kokoonpantiin paperiohjeilla (kokoonpanokuva, osaluettelo, kokoonpano-ohje) ja tietokoneella näytettyjen lisätyn todellisuuden ohjeiden avulla. 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 on kerrottu tarkemmin julkaisussa *Augmented Reality Efficiency in Manufacturing Industry: A Case Study* (Sääski, Salonen, Liinasuo, Pakkanen, Vanhatalo & Riitahuhta 2008; Salonen ym. 2009, 31.)

Iowan osavaltion Yliopisto tutki yhdessä Boeing lentoyhtiön kanssa 2014 siiven kokoamista eri työohjemenetelmillä. Tutkimuksessa verrattiin sähköisiä pdf-tiedostomuodossa olevia ohjeita ja lisätyn todellisuuden avulla tuotettuja ohjeita. Tutkimuksessa käytetyt laitteet olivat kosketusnäyttöiset pöytäkone ja tabletti (kuvio 18). Tabletissa oli sekä pdf-ohjeet että lisätyn todellisuuden ohjeet. Tabletteja oli mahdollista liikuttaa ympäri työtilaa. Koeryhmällä oli kokoonpanotyöstä vähäinen kokemus tai ei kokemusta ollenkaan. Tutkimukseen osallistui 48 henkilöä, kolmessa kontrolliryhmässä ja heidän piti suorittaa 46 kokoonpanotehtävää. Tutkimuksen kolme painopistealuetta olivat: 1. Laatu (First time quality), 2. Aika ja 3. Tehokkuus. (Richardson, Gilbert, Holub, Thompson, MacAllister, Radkowski, Winer, Davies & Terry 2014, 3, 5, 8). "First time quality is the ability for a novice trainee with little or no experience to perform an operation the first time with no errors". (Sääski ym. 2009, 8.)



KUVIO 17. Vasemmalla pöytätietokoneohjeistus ja oikealla lisätyn todellisuuden ohjeistus tabletilla (Richardson ym. 2014, 5)

Tutkimus osoitti, että käytettäessä ohjeistuksessa pöytäkoneen työohjetta tuli huomattavasti enemmän virheitä kuin tabletilaitteilla (kuvio 19 vasemmanpuoleinen kaavio). Pöytäkone sijaitsi työalueen kulmassa eikä ollut kokoonpanoalueella. Kaaviossa sininen palkki edustaa ensimmäistä kokoonpanoa ja vihreä palkki toista kokoonpanoa. Lisätyn todellisuuden ohjeita käytettäessä päästiin usein nolla virheisiin, eli tämä paransi laatua (First time quality). Mediaanin avulla poistettiin poikkeavat mittaukset, se kertoo jakauman tyypillistä arvoa luotettavammin kuin keskiarvo.



KUVIO 18. Kolme kuviota vasemmasta reunasta oikealle: laatu (First time quality), aika ja tehokkuus (Richardson ym. 2014, 8–10)

Keskimmäinen kaavio kertoo ajan, joka kului kokoonpanotehtäviin. Sininen palkki osoittaa ensimmäisen kokoonpanon ja vihreä toisen. Lisätyn todellisuuden avulla tehtävät suoritettiin huomattavasti nopeammin ensimmäisellä kerralla kuin pöytäkoneohjeilla.

Työntekijän tehokkuudesta kertoo kuvan oikeanpuoleisin kaavio. Tässä verrattiin tablettiohjeistuksia toisiinsa. Tuloksiin vaikuttivat tabletin ja osallistujan pään sijainti ja suunta. Tämän tiedon avulla voitiin laskea sekä tablettiin kohdistetut katselukerrat ja katselukertaan käytetty aika.

Tutkimuksen mukaan lisätty todellisuus työohjeistuksessa voi kasvattaa laatua (first time quality) ja samalla vähentää tehtävään käytettävää aikaa. Tutkijat havaitsivat, että lisätyn todellisuuden avulla osallistujat voivat keskittyä paremmin tehtävään, saavat nopeammin ymmärryksen ja tarvitsevat vähemmän tehtävien oikeellisuuden vakuuttelua. Lisäksi tietyissä yksittäisissä kokoonpanotehtävissä lisätyn todellisuuden hyödyt tulivat vielä paremmin esille. Lisätty todellisuus voi joissakin tehtävissä tarjota parempaa tietoa täsmällisemmässä sijoittelun valinta ja kokoonpano-osan valinta tehtävissä. (Richardson ym. 2014, 10–11.)

Dobrevin (2015, 54) suorittamassa pienimuotoisessa älylasien käyttötutkimuksessa ongelmaksi nähtiin muutosvastarinta uudenlaista tekniikkaa kohtaan. Muutosvastarintaa ei kuitenkaan pidetty suurena ongelmana, mikäli käyttöön otettava sovellus osoittautui hyödylliseksi ja työntekoa helpottavaksi. Täysin uudenlaisen toimintatavan opettelu vaatii aikaa, ja alkuvaiheessa harjoitteluun on syytä varata reilusti aikaa muuten uudenlainen toimintatapa saattaa aiheuttaa jopa turvallisuusongelmia. Silmälaseja käyttävät henkilöt joutuivat sijoittamaan älylasit silmälasiansa eteen, mikä oli jossain määrin kömpelöä. Lisäksi erityisesti silmälasia käyttävät henkilöt joutuivat säätämään lasit tarkasti niin, että ne pysyivät tukevasti paikallaan. Älylasien kehysten koko rajoitti myös jossain määrin näkökenttää. Ongelmia aiheutti myös testattujen älylasien kameran huono laatu, jonka vuoksi seuranta oli hankala toteuttaa vakaasti. Oman ongelmansa toi sovelluksen toimintavarmuus. Merkittävä ongelma oli älylasien akkukesto, joka oli vain noin 2–4 tuntia. Silmien väsyminen älylasien käytön seurauksena ei tässä tutkimuksessa noussut ongelmaksi. Älylasien tekniikka kehittyy kuitenkin kovaa vauhtia, joten tutkimuksessa esiintyneet tekniset ongelmat voidaan todennäköisesti unohtaa tulevaisuudessa.

Nuutinen (2010, 49) selvitti diplomityössä lisätyn todellisuuden hyödyntämistä suunnittelukatselmoinnissa. Työssä todettiin: ”Lisätyn todellisuuden avulla voidaan parantaa visualisointia ja säävuttaa luonnollisempi vuorovaikutus suunniteltavan tuotteen ja suunnittelijoiden välille. - - paremman visualisoinnin avulla tuotteeseen liittyvistä asioista muodostuu kokonaisvaltaisempi ymmärrys entistä nopeammin”. Yhteenvedon voidaan sanoa, että lisätyn todellisuuden avulla voidaan suunnitella entistä laadukkaampia tuotteita, koska tuotteensuunnittelun aikana tehdyt päätökset voidaan perustaa aikaisempaa kokonaisvaltaisempaan ja laadukkaampaan tietoon tuotteen vaatimuksista.



Radkowskin mukaan lisätty todellisuus lisää oppimisen suorituskykyä, nopeuttaa jopa 30 % kokoonpanoa ja vähentää kokoonpanossa syntyviä virheitä (2013, viitattu 29.5.2016).

## 2.11 Lisätyn todellisuuden hyödyt ohjeistuksessa

**Nopeus.** Lisätyn todellisuuden avulla haetaan linjalla tehtävän kokoonpanotyön nopeutumista. Linjoilla tehtävät tuotekohtaiset tavoitteet on usein laskettu sen mukaan, mitä kokenut kokooja pystyy tekemään. Kokeneilla kokoonpanijoilla nopeus voisi syntyä ainoastaan, jos lisätty todellisuus toimisi automaattisesti ja auttaisi tarkastustyössä tai myöhemmin jopa suorittaisi tarkastamisen työntekijän puolesta. Lisätyn todellisuuden työohjeiden tarkoitus on toimia uusien henkilöiden nopeamassa perehdyttämisessä ja vähentää tai jopa poistaa henkilökohtaisen perehdytyksen tarvetta. Koska lisätyn todellisuuden avulla voidaan vaativatkin kokoonpanotehtävä vaiheet suorittaa ohjautusti vaihe vaiheelta ilman kattavaa erikoisosaamista, työvaiheita opettavan tukihenkilön tarve vähenee. Lisätty todellisuus auttaa nopeampaan työn omaksumiseen ja se auttaa erityisesti silloin kun työtehtävät vaihtelevat. Nopeutta voitaisiin saada myös, jos lisätyn todellisuuden avulla voitaisiin lukea eri tuotteiden viivakoodit.

**Laadun paraneminen.** Koonnan vikadatan ja tarkastusraporttien perusteella kokoonpanossa tapahtuu paljon erilaisia kokoonpanovirheitä. Lisätyn todellisuuden avulla voidaan kohdistaa huomio oikeaan paikkaan reaaliajassa ja täten helpottaa työn tekemistä, tarkastamista ja virheiden ehkäisyä. Lisätyn todellisuuden avulla on mahdollista myös esimerkiksi suorittaa tarkastus onko työvaihe suoritettu tai tehty oikein. Lisätty todellisuus mahdollistaa toiminnan tarkastelun kohteen säilymisen yhdessä paikassa, jolloin huomiota ei tarvitse suunnata samanaikaisesti kahteen eri kohteeseen — esimerkiksi työnalla olevaan kohteeseen ja sen kokoonpano-ohjeeseen — vaan ne voidaan toteuttaa toisiinsa nivotusti. Työn laadukkuus paranee myös sitä kautta, kun työtä suorittavat työntekijät oppivat tekemään työn täsmälleen samalla tavalla.

**Työtehtävien muistaminen.** Tuotannon useiden eri tuotteiden, tuotteiden variaatioiden, tuotteiden nopean vaihtuvuuden ja muutoksien vuoksi työntekijöiden ei ole järkevää opetella työtehtäviä ulkoa. Useimmat tehtävät vaativat työntekijän lyhytaikaista työmuistia. Monien tehtävien tarkka suorittaminen vaatii tärkeän tiedon lyhytaikaisessa muistissa säilyttämisen lisäksi kyseisen tiedon nopeaa käyttöä. Tämän vuoksi lyhytaikaisen muistin rajallinen kapasiteetti vaikuttaa tehtäviin, joiden

onnistunut toteutus vaatii työntekijältä tiedon tarkkaa käyttöä ja säilytystä määrätyn ajan. Kognitiivinen psykologia paljastaa, että säilytyksen tarkkuutta voidaan lisätä minimoimalla tiedon esittämisen ja siihen liittyvien toimien välissä tapahtuvat asiat. Lisätty todellisuus tarjoaa mahdollisuuden tämän välin pienentämiselle ja siten tehostaa työntekijän muistin käyttöä. Lisätty todellisuus voi myös saumattomasti liittää tarvittavan tiedon työntekijän todelliseen näkymään vapauttaen sen osan työntekijän lyhytaikaisesta muistista muuhun käyttöön. (Wang & Dunston 2005, 316, 320.)

Lisätty todellisuus voi vaikuttaa parantavasti asioiden mieleen painamiseen (uuden ja olemassa olevan tiedon yhdistyminen), muistamiseen ja opitun siirtovaikutukseen, koska lisätty todellisuus mahdollistaa useiden assosiaatioiden syntymisen pystyessään hyödyntämään useita eri aistikanavia. Lisätty todellisuus mahdollistaa saman oppimisympäristön ja sovellusympäristön hyödyntämisen, koska lisätyn todellisuuden sovellusten perusta on reaali maailmassa, ja opitun siirtovaikutuksen (transfer) tutkimusten mukaan tiedon muistaminen on tehokkainta, kun oppimisympäristön ja sovellusympäristön välillä on samankaltaisuuksia. (Valimont, Gangadharan, Vincenzi & Majoros 2007, 36.)

**Tilannetietoisuus.** Tilannetietoisuus mahdollistuu, kun toimintaympäristöön liittyvä virtuaalinen sisältö muuttuu ympäristön muutosten tai käyttäjän näkökulman vaihdoksen myötä, ja tieto muutoksesta välittyy käyttäjälle helposti fyysisiin objekteihin liittyvien virtuaalisten ilmoitusten myötä. Tilannesidonnaisen merkityksen tarjoaminen virtuaaliselle tiedolle on yksi hyödyllisyyden kriteeri lisätylle todellisuudelle. (Carmichael, Biddle & Mould 2012, Embodied Cognition.)

**Huomion säilyminen.** Lisätty todellisuus on hyödyllistä silloin, kun huomion halutaan säilyvän tehtävässä kaiken aikaa eikä haluta huomion hajautuvan itse tehtävästä muualle. Myös silloin lisätty todellisuus on hyödyllistä, kun halutaan tukea luonnollisia käyttöliittymiä ja kohteen suoran manipuloinnin mahdollisuutta. Virtuaalisen objektin ja reaali maailman välillä on oltava selkeä ja merkityksellinen suhde, jotta lisättyä todellisuutta kannattaa hyödyntää.

**Avaruudellisen hahmottamisen kyky paranee.** Lisätty todellisuus edistää myös spatiaalista kognitiota (Kalalahti 2014, 11). Spatiaalinen kognitio tarkoittaa avaruudellisen tiedon hahmottamista ja käsittämistä (Kangasaho & Toikkanen 2000, 13). Tilallisesti koodattu tieto on avuksi assosiaatioiden rakentumiselle muistissa, sillä tilallinen informaatio prosessoidaan automaattisesti visuaalisen näkymän siirtyessä pitkäkestoiseen muistiin. Spatiaalisten vihjeiden käyttö muistisääntöinä on todettu olevan tehokasta muistamisen kannalta. Tutkimuksen mukaan erilaisten koeryhmien (lisätty

todellisuus, video, interaktiivinen video ja paperi) välillä erot eivät olleet merkittäviä muistamisessa testattaessa heti kokeen jälkeen. Lisätyn todellisuuden avulla opetellut ryhmä muisti kuitenkin parhaiten, ja pidemmän ajan kuluessa kokeen jälkeen ero lisätyn todellisuuden ja toiseksi parhaan muun käsittelyn ryhmän välillä kasvoi. Koehenkilöitä oli kuitenkin vain vähän, ja tutkijat toivovat lisää tutkimusta aiheesta. (Kalalahti 2014, 11.)

**Yhdet ohjeet.** Pitkälle viety lisätyn todellisuuden käyttö työhjeistuksessa ajaa siihen, ettei ohjeita ole tarpeen tehdä enää usealla eri kielellä. Lisätyn todellisuuden teknologian avulla päästään jopa kulttuuri- ja kieliriippumattomiin universaaleihin opastusjärjestelmiin. Hyvin kuvaavia ja animoituja ohjeita ei tarvitse kääntää erikseen eri kohdemaan kielille, vaan yksien ohjeiden tekeminen riittää. Tämä vähentää huomattavasti ohjeiden tekemistä ja päivitystarvetta useissa eri maissa sekä keventää prosessia. Ohjeissa tarvittavat tekstitykset esimerkiksi nimet, versio-, moduuli-, osanumerot yms. ovat kuitenkin globaalilla tasolla samat.

Tilallisia ilmiöitä on hankala esittää kaksiulotteisesti. 3D-animaatioiden avulla pystytään esittämään monimutkaisiakin työvaiheita ymmärrettävästi. Niiden avulla tuote kuvataan kolmiulotteisessa avaruudessa, joka koostuu x-, y- ja z-koordinaateista. Kokoojan näkökulmasta tämä tarkoittaa sitä, että kappaleet, osat ja kokoonpanot näyttävät oikeilta ja sisältävät kaikki fyysiset sekä mekaaniset ominaisuudet, joita valmistettavalla tuotteella on. Lisätty todellisuus voi ainutlaatuisen käyttöliittymänsä kautta tarjota tiettyjä etuja kolmiulotteisten objektien katseluun ja manipulointiin. (Shelton & Hedley 2002, 7). Jos työhjeita käytetään tuotannossa, jossa lisätyn todellisuuden järjestelmää ei ole käytössä, on selvítettävä onnistuuko työhjeiden generointi suoraan lisätyn todellisuuden ohjeista, tässä tapauksessa PowerPoint-ohjeiksi.

**Fyysinen todellisuus** monenlaisine objekteineen ja mahdollisuus hyödyntää kaikkia aisteja soveluksia käytettäessä ovat erityistä lisätyn todellisuuden opetukselle tarjoamissa eduissa ja nämä edut tulevat mukaan automaattisesti ja ilmaiseksi. Toisaalta lisätty todellisuus tuo mukanaan **joustavuutta**, koska fyysiseen ympäristöön lisättäviä virtuaalisia objekteja voi muokata vapaasti ja niiden avulla voidaan esittää sellaista, mikä olisi muutoin mahdotonta. (Carmichael ym. 2012, Embodied Cognition, Conclusion.)

**Kiinnostavuus.** Työskentelystä voidaan tehdä ennen kaikkea kiinnostavampaa ja oppimisesta tehokkaampaa havainnollistamalla erilaisia muotoja kolmiulotteisesti. Oppimistavoitteena on taidon

tiedollinen ja proseduraalinen komponentti, osataitojen oppiminen ja taidon automatisointi sekä erilaiset työopastesovellukset, jotka ohjaavat asteittain vähenevien kognitiivisten tukien avulla kohti itsenäistä suoritusta. (Kalalahti 2014, 10, 36.)

**Tukee konstruktivistista oppimista, itsenäistä työskentelyä ja tiedonrakentamista.** Lisätyn todellisuuden teknologialla voidaan tuottaa virtuaalista sisältöä reaali maailman kontekstiin. Se mahdollistaa virtuaalisen maailman ja reaali maailman yhdistämisen esimerkiksi tuotekehityksessä, jossa suunnittelumalleja voidaan nähdä aidossa toimintaympäristössä. (Opetushallitus 2013, viitattu 7.5.2016.)

Koulutuksessa ja ohjeistuksessa abstraktit asiat voidaan esittää kolmiulotteisina malleina ja niitä voidaan liikuttaa ja muokata, tämä helpottaa monimutkaisten asioiden hahmottamista (Myers 2012, viitattu 7.5.2016).

**Tehtävien visualisointi** suoraan kohteeseen tapahtuu lisätyn todellisuuden avulla paremmin, jolloin tekijän ei ole enää tarpeen erikseen tarkistaa suorittamiaan tehtäviä. Myös työtehtävävaihe itsessään saattaa olla tarkistamista, tällöin säästetään aikaa ja mahdollisesti vältetään virheitä, kun tarkistettavat kohdat on osoitettu suoraan kohteeseen. Lisätyn todellisuuden avulla on myös mahdollista suorittaa itse tarkistaminen (tunnistaa virheen) yleensä räätälöityjen ratkaisujen avulla.

**Ergonomia.** Tulevaisuudessa nykyistä työergonomiaa voidaan parantaa huomattavasti datalasiav avulla. Tällöin ohjeistus on suoraan oikeassa näkökentässä ja ohjeet sulautuvat saumattomasti työvaiheeseen. Tämä vähentää tarpeetonta liikettä, sen avulla voidaan välttää mahdollisesti rasitusvammoja ja nopeuttaa työskentelyä.

**Teknologian vaikuttavuus** voidaan myös lukea hyödyksi. Yrityksen status nousee kun pystytään esittelemään asiakkaille käytössä olevia uusimpia teknologioita. Lisäksi hyvissä ajoin varautuminen tulevaisuuden muutoksiin (laitteistot, ohjelmistot yms.) ennaltaehkäisee osaksi mahdollisesti kustannuksia myöhemmin.

## 2.12 Lisätyn todellisuudet haasteet ohjeistuksessa

Uuden teknologian käyttöönoton lisäksi, lisätyn todellisuuden käyttö työhjeistuksessa saattaa aiheuttaa joitakin haasteita. Näitä voivat olla esimerkiksi:

- Kustannukset, joita aiheuttavat esimerkiksi laitteistot ja uuden asian opetteluun kuluva aika
- Mahdolliset tekniset ongelmat laitteiston/ohjelmiston/kirjaston kanssa, esimerkiksi miten kädet peittävät tuotteen tunnistuksen.
- Työhjeiden laatimisen työn määrä ainakin aluksi ennen kuin opitaan ja saadaan standardeitua ohjeistus
- Vaatii opettelua, nykyisten työtapojen muuttamista ja tutkimusta esimerkiksi PDM hyödynnettävyys
- Useiden ominaisuuksien hyödyntäminen vaatii vielä kehittämistä

Datalasien nopea kehittyminen ja yleistyminen lähivuosina parantavat kustannus/laatu suhdetta ja se tuo lisätyn todellisuuden teknologian paremmin hyödynnettäväksi. Tällä hetkellä ongelmia voivat aiheuttaa esimerkiksi näyttötekniikan aiheuttama silmien väsyminen, seurannan hitaus, epätarkkuus sekä visualisoinnin rajoittunut kyky tuottaa reaaliaikaista kuvaa. Datalasien suurin ongelma saattaa kuitenkin olla lasien ns. sosiaalinen hyväksyttävyys. Ihmiset eivät välttämättä ole esimerkiksi valmiita kantamaan päässään näyttölaitteita tai kameroita varsinkaan jos ne ovat suuria, painavia ja epäkäytännöllisiä, tai näkemään suurta määrää erinäistä informaatiota ympärillään. Myös akkujen kesto voi aiheuttaa ongelmia.

Päässä pidettävien näyttöjen ongelmana on niiden aiheuttama silmien väsyminen, joka johtuu kuvan esittämisestä liian lähellä silmiä (Suhonen 2010, 22–23). Toisaalta teknologia kehittyy ja VTT:n kehittämästä uudesta näyttötekniikasta kerrotaan: ”virtuaalinen kuva muodostuu käyttäjän kaukokenttään, jolloin käyttäjän silmät eivät väsy” (VTT 2015, viitattu 15.5.2016).

Lisätyn todellisuuden sovelluskehittäjän on otettava huomioon useita eri kysymyksiä. Pääasiallisia teknisiä kysymyksiä ovat järjestelmän suorituskyky, vuorovaikutus, yhdenmukaistaminen, reaaliaikaisuus, sisällöntuotannon tuottamisen helppous ja kirjoittaminen. Käyttökokemukseen vaikuttavat esimerkiksi näköhavainnot, käytetyt laitteet, käyttöliittymät ja tehonkulutukset.

Järjestelmän käytettävyyteen on kiinnitettävä huomiota. Esimerkiksi kokoonpanotyössä laitetta ei voi pitää kädessä. Virrankulutus, akun kesto ja laitteiden langattomuus on myös olennainen asia sovelluksissa, joissa vaatimuksina on, että käyttäjä voi liikkua vapaasti.

Lisätyn todellisuuden järjestelmän on toimittava reaaliajassa. Muussa tapauksessa järjestelmä voi näyttää vanhaa tai virheellistä tietoa, tai lisätty tieto ei vastaa ympäristön nykytilaa. Suorituskykyyn liittyvät ongelmat ovat ominaisia lisätyn todellisuuden algoritmin sovelluskehitykselle. Käyttäjän ja järjestelmän vuorovaikutuksen pitäisi tapahtua luonnollisesti, muuten käytettävyys ja käyttäjäkokeemus häiriintyvät. Myös sovellustasolla vuorovaikutus todellisen maailman esineiden ja virtuaalisen kohteiden välillä on oltava luonnollinen. Kameran kalibroinnin tulee olla oikea, ja seuranta on oltava tarkka, muutoin lisätyt tiedot siirretään todellisessa ympäristössä harmillisesti väärään paikkaan tai tiedot ”lepattavat”.

Sisällön luominen on myös tärkeä osa sovelluskehitystä. Sovellus voi visualisoida tiedot tietokannasta (esimerkiksi lisätyssä kokoonpanossa) tai esittää sanallisia tietoja (esimerkiksi lisätyn todellisuuden selaimissa). Joskus tiedot tietokannassa ovat sopimattomassa muodossa ja muuntaminen on tarpeen. Jos tietokantaa ei ole käytettävissä, pitää sisältöä luoda. Lisäksi, jos tarvitaan ja käytetään hienoa grafiikkaa, se on luotava käyttäen asianmukaista tarkkuutta ja oikeassa muodossa. Sama sisältö ei sovi sekä mobiiliympäristöissä ja laadukasta visualisointia vaativassa ympäristössä.

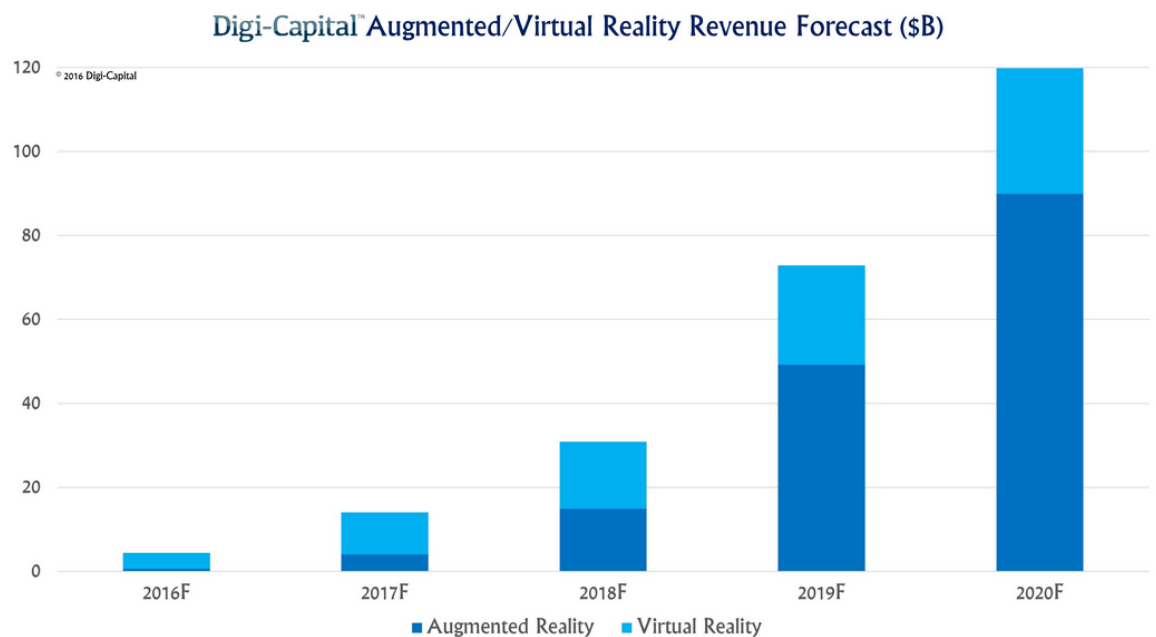
Näköhavainnon olisi oltava sovellukseen asetetun tavoitteen mukainen. Käyttäjän olisi voitava keskittyä tehtävään. Laitteet ovat usein erittäin tärkeässä roolissa kehitysprosessissa.

Lisätystä todellisuudesta saatavaa kokonaissäästöä on hankala laskea ja analysoida pitkällä ajalla ilman teknologian pidempiaikaista testaamista käytännössä.

### **2.13 Lisätyn todellisuuden kehitys**

Digi-Capital on ennustanut (kuviot 20) virtuaalitodellisuuden ja lisätyn todellisuuden markkinaosuudeksi 120 miljardia vuonna 2020, lisätty todellisuuden osuus tästä on 90 miljardia. Lisätyn todellisuuden voimakasta kasvuennustetta voitaneen selittää älylasien ja lisätyn todellisuuden sovellusten yhteydellä mobiilimarkkinoihin, kun taas virtuaalitodellisuuden teknologia nähdään konsoleihin

verrattavana tuotteena, jonka tulot löytyvät peleistä, elokuvista ja teemapuistoista. (Digi-Capital 2016, viitattu 14.5.2016.)



*KUVIO 19. Lisätyn ja virtuaalisen todellisuuden liikevaihdon kasvuennuste (Digi-Capital 2016, viitattu 14.5.2016)*

Suomessa tutkitaan myös paljon todellisuuden teknologian hyödyntämistä. VTT on ollut jo 15 vuoden ajan mukana kehittäessään lisätyn todellisuuden teknologiaa. VTT on tehnyt yhdessä suurten teollisten toimijoiden kanssa sovelluksia ja tutkinut myös mm. Euroopan avaruusjärjestö ESA:n kanssa sitä, miten lisättyä todellisuutta voitaisiin hyödyntää avaruudessa. (VTT 2016b, viitattu 14.5.2016.)

Nokia toteutti myös jo vuonna 2006 MARA (Mobile Augmented Reality Applications) tutkimuksen. Useissa yliopistoissa on tutkittu lisättyä todellisuutta. Tampereen yliopiston informaatiotieteiden yksikössä osana ESR-rahoitetun Avoimuudesta voimaa oppimisverkostoihin (AVO2) -hankkeen toimintaa on kartoitettu lisätyn todellisuuden aluetta kokonaisuutena ja oppimisen näkökulmasta. Aiheesta on tehty useita tutkimushankkeita mm. Turun Yliopiston Technology Research Centerin ja VTT:n yhteishankkeessa on kehitetty lisätyn todellisuuden teknologiaa museoiden ja historiallisten matkailukohteiden käyttöön sekä matkailun hyödyntämisessä. Koulutuskeskus Salpauksen omistama Adusal Oy tarjoaa räätälöityjä palveluja yrityksille ja oppilaitoksille esimerkiksi koulutuksia ja sovelluksia.

### 3 TYÖOHJEET

Työohjeiden tärkeys yrityksissä, varsinkin kokoonpanotyön laadunohjaamisessa, tuottavuuden parantamisessa ja resurssien joustavuuden lisäämisessä on yleisesti tunnustettu ja tunnustettu. Korkeatasoisten ohjeiden tuottamiseen ja ylläpitämiseen yrityksissä ei kuitenkaan näyttäisi olevan tarvittavia resursseja. (Haag ym. 2011, 2.)

Työohjeita on käytetty muistin varaisten tietojen ylläpitämiseen ja erilaisten työvaiheiden kuvaamiseen sanoin ja valokuvoin paperisilla ohjeilla. Nykyään monessa tuotantolaitoksessa ohjeet on muutettu usein sähköiseen muotoon tietokoneelle ja pääte sijaitsee työpisteen läheisyydessä, josta ohjeita on helppo hyödyntää tarvittaessa. Valmistavassa teollisuudessa tuotteiden varioituvuus ja komponenttien optimointi on johtanut tilanteeseen, jossa tuotannon joustavuus ja laaduntuottokyky edellyttävät henkilöstöltä entistä suurempaa kykyä mukautua alati muuttuviin tuotekonfiguraatioihin ja vaihtelevaan kapasiteetin tarpeeseen. Optimaalisessa tilanteessa henkilöstö on perehdytetty useaan eri tehtävään ja tarvittaessa työvoimaa voidaan siirtää joustavasti eri työpisteiden välillä. (Haag ym. 2011, 2, 8, 15.)

Erialaisten työohjeiden sisällön tuottamiseen ja ylläpitämiseen on käytössä lukemattomia eritasoisia käytäntöjä, tiedostoformaatteja ja erilaisia työkaluja. Työohjeiden hallinnassa kokonaisuutena on paljon puutteita prosessinomaisuuden lisäksi tiedonsiirtostandardien osalta, jotka yhdistettynä loisivat työohjeen lisäksi varsinaisen tuotannonohjeistuksen ja koko siihen liittyvän prosessin paremman automatisoinnin. Yrityksien tuotannon ohjeistukseen liittyy oleellisena osana myös ohjeistusjärjestelmän liittäminen tuotannon tapahtumiin. Työohjeiden kuuluu olla aina ajan tasalla viimeisine päivityksineen, niiden tulee olla nähtävinä oikeissa työvaiheissa oikeaan aikaan ja niiden tulee olla oikealla paikalla. Tekniset edellytykset edistyksellisen ohjausjärjestelmän rakentamiselle ovat olemassa, ja eri osioiden toimivuus on voitu osoittaa joko käytännössä tai demonstraatioissa. (Haag ym. 2011, 2.)

Varioituvat, muuttuvat ja tilauksesta valmistettavat tuotteet edellyttävät, että ohjeistus, osaluettelot, kuvat, muutosilmoitukset sekä muut erityisohjeet voidaan kohdistaa sekä yksittäiselle tuotteelle että tehtäville työvaiheille. Tämä edellyttää myös tuotteen ja tilauskohtaisten ominaisuuksien tai varustetason luotettavaa tunnistamista jokaisessa työvaiheessa. Tuotannon opastuksen yksi keskeisim-



piä haasteita on tarvittavan tietosisällön tuottamiseen ja ylläpitoon tarvittava työ. Erityisen haastavaa on se, että eri työpisteet tai henkilöt tuottavat tietoa tuotteen elinkaaren aikana usealla eri järjestelmällä tai laitteistolla, jolloin tiedon viite-eheys ja yhteensopivuus ja sitä myöten hyödynnettävyys sekä luotettavuus vaarantuvat. (Haag ym. 2011, 8.)

### **3.1 Tuotannon tehostaminen työohjeilla**

Työohjeiden tehtävänä on antaa käyttäjälle hänen tarvitsemansa tieto juuri oikeassa kohdassa ja tarvittavan laajuusena. Hyvien ja selkeiden työohjeiden avulla pystytään tehostamaan tuotantoa ja saadaan minimoitua niin sanottu hukka-aika. Hukka-aika tarkoittaa tässä tapauksessa aikaa, jonka työntekijä käyttää puuttuvan tiedon hankkimiseen. Selkeillä työohjeilla kokematonkin työntekijä pystyy valmistamaan, testaamaan ja tarkastamaan tuotteen, jolloin hänen ei tarvitse keskeyttää muiden työntekijöiden työntekoa, vaan hän löytää tarvittavan tiedon työohjeista. Työohjeiden avulla pystytään standardisoimaan yhtenäinen valmistustapa, jolloin säästytään eroavaisuuksilta ja tuotteiden yhtenäisyys säilyy. Ilman yhtenäisiä työohjeita jokaisella työntekijällä on oma tapansa koota tuotteita, jolloin syntyy kokoonpanoteknisiä sekä testauksessa asetettujen arvojen eroavaisuuksia. Tästä eroavaisuudesta pyritään pääsemään eroon ja saamaan kokoonpanoltaan identtisiä tuotteita käyttäen yhtenäisiä työohjeita, jotka täyttävät tuotteille asetetut valmistus-, testaus- ja tarkastusdirektiivit sekä standardit. (Rokka 2015, 5.)

### **3.2 Hyvän työohjeen laatiminen**

Valmistavan teollisuuden haasteena on valmistaa korkealla laaduntuottokyvyllä muuttuvia tuotekokonaisuuksia siten, että henkilöstön kapasiteetti mukautuu tarpeeseen. Tuotannon on siis oltava joustavaa ja työvoiman siirtäminen tarvittaviin tehtäviin tulisi hoitua vaivattomasti. Käytännössä tämä on kuitenkin osoittautunut teknisesti vaativien tuotteiden osalta mahdottomaksi työvoiman osaamisen tason, vaihtuvuuden ja saatavuuden vuoksi. Varioituvat ja tilauksesta valmistettavat tuotteet vaativat työohjeistuksen, kuvien ja kaiken muun dokumentaation ajantasaisuutta, ja sitä, että mahdolliset erityisohjeet ovat kohdistettavissa juuri oikealle tuotteelle ja työvaiheelle. Hyvä työohje määrittävinä tekijöinä ovat ajantasaisuus, kattavuus ja samalla yksiselitteisyys muttei kuitenkaan liika yksityiskohtaisuus. On tärkeää pitää mielessä, että kokenut työntekijä tarvitsee

vähemmän ohjeistusta kuin aloittelija. Tuotannon opastusprosessin tavoite voidaankin kiteyttää lyhyesti: ainoastaan oleellinen – viimeisin tieto oikeassa paikassa, oikeaan aikaan ja helposti ymmärrettävässä muodossa. (Haag ym. 2011, 8.)

### **3.2.1 Työohjeiden rakenne**

Ohjeistuksen alussa kerrotaan käyttäjälle välttämättömät asiat, kuten esimerkiksi valmistettavan, testattavan tai tarkastettavan tuotteen tyyppi ja versio. Työohjeen rakenne tulee jäsentää siten, että se vastaa ohjeen käyttäjän tehtävien suoritusjärjestystä ja jokainen työvaihe on omana kohtanaan joko kuvina tai tekstinä. Näin työohjeen käyttäjän on helppo ymmärtää tehtävän työn järjestys. Vaikka työohjeen rakenne olisikin luotu helppolukuiseksi ja selkeäksi, kokenut työntekijä ei välttämättä käytä ohjetta halutun tiedon löytymisen vaikeuden vuoksi. Tämä johtuu usein taas siitä, että työohjeet ovat liian pitkiä. (Rokka 2015, 22.)

### **3.2.2 Työohjeiden selkeyttäminen kuvien avulla**

Kuvien ja tekstin yhteiskäyttö työohjeessa on järkevää, sillä kuvat usein havainnollistavat tekstissä mainitun asian erittäin hyvin, kuvat ja teksti täydentävät toisiaan. Jotta käyttäjä pystyy saamaan kuvasta tarpeellisen tiedon hyödykseen, on kuvien oltava selkeitä ja laadukkaita. (Alasippola 2014, 14, viittaa SFS-EN 62079.) Kuvien laatuun ja selkeyteen on kiinnitettävä huomiota, olivatpa kuvat valokuvia, piirroksia, piirikaavioita tai muita kuvia. Tähän tulee kiinnittää huomiota erityisesti valokuvia otettaessa, sillä usein esimerkiksi kuvauspaikan valaistusolosuhteet vaikuttavat huomattavasti otettavan kuvan laatuun. ”Kuva kertoo enemmän kuin tuhat sanaa” -sanonta pitää hyvin usein paikkansa. Kokeneemman työntekijän kohdalla riittää usein pelkkä vilkaisu työohjeessa olevaan kuvaan. (Alasippola 2014, 14.) Käyttöjärjestystä eli tapahtumien todellista järjestystä on noudatettava, kun kuvataan kuvien ja tekstien avulla peräkkäin tapahtuvia toimintoja. Tekstien on oltava mahdollisimman lähellä sitä kuvaa, johon ne liittyvät. Kuvien käyttäminen työohjeissa auttaa etenkin uutta työntekijää ymmärtämään työohjeita paremmin. Kuvien avulla työntekijä löytää tarvittavan tiedon nopeammin. (Rokka 2015, 23.)

Seuraavassa kuviossa (kuvio 21) on yhteenveto siitä, mitä hyvässä työohjeessa on huomioitava.

Kenelle?	Miksi?	Millainen?	Missä?
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Uudet työntekijät</li> <li>•Vanhat työntekijät</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Perehdytys</li> <li>•Yhtenäiset työtavat</li> <li>•Työturvallisuuden parantaminen</li> <li>•Virheiden välttäminen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Sisällöllisesti kattava</li> <li>•Ymmärrettävä</li> <li>•Selkeä (Kuvat ja teksti)</li> <li>•Helppo päivittää</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Verkossa, PDM-järjestelmä</li> <li>•Kansioissa</li> </ul>

KUVIO 20. Yhteenveto hyvästä työohjeesta (Rokka 2015, 24)

### 3.2.3 Työohjeissa käytettävät varoitukset

Mikäli ohjeeseen tulee varoituksia tai muita esimerkiksi turvallisuuteen liittyviä huomioita, ne tulee korostaa joko käyttämällä erilaista fonttikokoa tai tyyliä. Jotta varoitus olisi tehokas, tulee muotoilussa ja suunnittelussa ottaa huomioon varoittavan tekstin rajoittaminen vain välttämättömimpään, eikä sitä saa toistaa liikaa. Liian pitkä tai usein toistettu varoitusteksti menettää usein voimansa käyttäjän silmissä. Varoituksen tulee sijaita näkyvässä ja helposti huomattavassa paikassa, ja siinä tulee tarvittaessa ilmetä vaaran luonne ja mahdolliset syyt. Tärkeä osa varoitusta on sen antama ohjeistus toimintatavoista ja vastaavasti niistä toimista, joita tulee välttää. (Alasippola 2014, viittaa SFS-EN 62079.)

### 3.3 Ymmärrettävyyden ja luettavuuden vaatimukset

Työohjeen teknisiä termejä ei lyhennetä, sillä ohjeen käyttäjien ammattitaito tai kokemus saattaa vaihdella. Tarkoituksena on, että käyttäjän ymmärrys lisääntyy ohjeen edetessä ja ohjeiden ymmärtämiseen kuluu mahdollisimman vähän aikaa. Työvaiheet on esitettävä yksinkertaisesti ja lyhyesti. Yhdessä virkkeessä esitetään vain muutamia toisiinsa liittyviä asioita, sillä liian monimutkaisesti ja suurella informaatiomäärällä esitetty tieto on vaikeasti ymmärrettävissä. Lyhyitä ja kuvaavia otsikoita sekä reunahuomautuksia kannattaa suosia. Kirjasintyyppi ja koko vaikuttavat ohjeen luettavuuteen. Tarpeeksi selvä ja iso kirjasintyyppi, vähintään 12 pistettä, on suotava. (Alasippola 2014, viittaa SFS-EN 62079.)

Liian tarkka ohjeistus saattaa vieraannuttaa kokeneemman työntekijän käyttämästä työohjetta halutun tiedon löytymisen vaikeuden vuoksi. Hyvin yksityiskohtainen ja tarkka työohje saattaa sisältää

huomattavan paljon informaatiota kuvina, tekstinä ja niitä tarkentavina kohtina. Tämä osaltaan vaikeuttaa työntekijän tiedonhakua, vaikka työohjeen rakenne olisikin luotu helppolukuisiksi ja selkeiksi. Oikean ja oleellisen tiedon esittäminen mahdollisimman vähällä ylimääräisillä lisäyksillä on tärkeää, eikä ohjeistus saa rönsyillä ulos suunnitelluista raameistaan. Työntekijöiden työnjäljen yhtenäisyys kärsii, mikäli kokenut työntekijä ei kunnioita työohjeen rakennetta, vaan soveltaa omaa tietotaitoaan, koska ei jaksakaan etsiä tietoa liian laajasta ohjeistuksesta. Hyvän työohjeen tulee selkeästi kuvata kokoonpanoprosessi: mitä tehdään, missä järjestyksessä se tulee suorittaa ja mitkä ovat kokoonpanossa tarvittavat työkalut. Tarkoituksena on tehdä taloudellisesti luotavat, ylläpidettävät ja jaettavat ohjeet, jotka vähentävät kokoonpanotyöntekijän opetteluun käyttämää aikaa. Ohjeiden tärkeä osa ovat muun muassa valokuvat ja piirustukset. (Haag ym. 2011, 14.)

### **3.4 Työohjeiden sijainti ja määrä**

Jotta työohjeita käytettäisiin, tulee ne sijoittaa työpisteen välittömään läheisyyteen siten, ettei ohjeen etsimiseen kulu aikaa. Jokaisella työpisteellä tulisi olla ainoastaan oikea ja oleellinen tieto helposti saatavissa. Ohjeiden tulee olla kulutuksenkestävät ja tahriintumiselta suojattuja, mutta helposti käytettävissä ja samalla helposti päivitettävissä. Työn sujuvuus kasvaa, kun ohjeita on optimimäärä. Tavoitteena on henkilöstön työmotivaation lisääminen sekä tuloksellisuuden ja tuottavuuden parantaminen. Keskeistä on myös tiedon valikointi, jäsentäminen ja tiivistäminen.

### **3.5 Työohjeistuksen haasteet**

Tyypillisesti kokoonpano-ohjeet ovat olleet ja ovat vielä nykyin monessa paikassa paperille tulostettuja 2D-viivakuvia, osaluetteloita, valokuvia ja selittävää tekstiä. Monissa yrityksissä paperiohje on korvattu tietokonepohjaisella ohjeella, mutta sisältö on kuitenkin pysynyt ennallaan. Paperiohjeiden vahvuutena on tuttu ”käyttöliittymä”, ja paperiohje on helppo viedä sinne, missä sitä tarvitaan. Heikkouksia ovat mm. päivitykset – oikean version löytäminen vie aikaa, tarvittavan asian löytäminen piirustuksista on usein työlästä, 2D-piirustusten ymmärtäminen vaatii hyvää ammattitaitoa ja kokemusta, kokeneellekin työntekijälle voi sattua vääriä tulkintoja ja virheitä. (Salonen 2009, 9; Haag ym. 2011, 15.)

Työohjeistuksen suurimmat haasteet:

- Ohjeiden luontia ei ole automatisoitu eli on käsin tehtävää työtä ja lisäksi ohjeiden tekemiseen ei ole joka paikassa riittävästi resursseja.
- Ohjeita ei ole helppo päivittää luontitavan takia (kuvionkäsittely, valokuvat).
- Ohjeiden tekeminen ja ylläpito koetaan liian työlääksi tai tarpeettomaksi.
- Ohjeiden laatimista tai päivittämistä ei ole linkitetty suunnittelu- tai valmistusprosesseihin. Työohjeen laadinta nähdään kertaluonteisena työnä. Ohjeet jäävät helposti päivittämättä.
- Päivitettyjenkin ohjeiden lukeminen on täysin kiinni työntekijöiden aktiivisuudesta.
- Ammattitaitoiset työntekijät eivät tarvitse työohjeita. Työt osataan jo tehdä. Voidaan kuitenkin kysyä, mitä tapahtuu, jos omaa tuotantoa siirretään, ulkoistetaan tai työntekijät vaihtuvat?
- Pelkkä ohjeistuksen konfiguroitavuus tuotevariaation mukaan ei riitä, vaan ohjeistuksen täytyy varioitua myös käyttäjän ammattitaidon mukaan: aloittelija tarvitsee tarkemmat ohjeet kuin kokenut työntekijä.
- Linjakokoonpanotyössä, jossa linja on tasapainotettu standardiaikojen avulla, työntekijöillä ei ole aikaa etsiä tietoa, vaan kaiken tarvittavan tiedon tulee olla automaattisesti esillä. Tämä puoltaa kokoonpanon opastusjärjestelmien ja niihin liittyvien prosessien kehittämistä.
- Ohjeiden yksiselitteinen tulkinta yksittäisiä työtehtäviä varten vaatii ammattitaitoa ja kokemusta, mutta kokeneellekin työntekijälle voi sattua vääriä tulkintoja ja virheitä (käytössä voi olla useita eri ohjeita ja/tai useita versioita).
- Kokeneet työntekijät eivät tarvitse yksityiskohtaisia ohjeita, vaan ennemminkin tietoa mahdollisesta muutoksesta totuttuun työtapaan tai käytettyihin komponentteihin.
- Toiminta on pitkälti työntekijän muistin varassa.  
(Haag ym. 2011, 17, 32, 39.)

## 4 TYÖYMPÄRISTÖ

Prosessi on sarja tehtäviä ja päätöksiä, jotka tuottavat lisäarvoa asiakkaille ja muille sidosryhmille. Hyvän tuloksen aikaansaamiseksi muutosprosessia tulee aina tarkastella osana sen ympäristöä. Analysoitaessa prosessin ympäristö oikein, voidaan päätellä, minkälaisia mahdollisuuksia tai rajoituksia ympäristö muutosprosessille luo. Löydetyt asiat tulee huomioida kehitystyössä. Ympäristöllä tässä tapauksessa tarkoitetaan sekä sisäisiä että ulkoisia taustatekijöitä.

### 4.1 Sisäinen ympäristö

Sisäisen ympäristön muutosprosessille luovat organisaation järjestelmät, henkilöresurssit, tietotekniikka, visiot ja tavoitteet sekä näille perustan luovat arvot ja organisaatiokulttuuri. Tuloksellisuuden ja laadun paraneminen ovat yksi iso syy muutokseen.

### 4.2 Ulkoinen ympäristö

Ulkoinen toimintaympäristö koostuu yrityksen ulkopuolisista vaikuttajista; osa rajoittaa sen toimintaa ja osa antaen menestysmahdollisuuksia. Yrityksen ulkoinen ympäristö käsittää ympäristön poliittiset, taloudelliset, lainsäädännölliset, sosiaaliset, kulttuuriset, fyysiset, teknologiset ja ekologiset tekijät. (Hatch 2006, 65.)

### 4.3 Asiakkaat

Prosesseilla on aina asiakas, joka voi olla sisäinen tai ulkoinen. Asiakas on prosessin tuotteen ja palvelun vastaanottaja. Laajimmillaan asiakas ymmärretään henkilönä tai ryhmänä henkilöitä, joihin prosessi tai sen tuote vaikuttaa joko suorasti tai epäsuorasti. Asiakas voi olla kuluttaja tai toinen yritys, joka käyttää tuotteita ja palveluita omassa liiketoiminnassaan. Asiakas voi olla myös liiketoimintakumppani, jonka kanssa tehdään yhteistyötä palveluiden jakelussa tai asiakkaiden palvelemiseksi. (Sahi 2010, viitattu 24.9.2016.) ”Laadun määrittelee lopulta asiakas. Oikeiden asioiden tekemisen varmistamiseksi ja kehittämistyön tueksi on mietittävä, kuka oikeastaan on yrityksen asiakas. Laatuajattelussa asiakaskäsite on laaja” (Kallunki 2014, 16 viittaa Leckliniin).

### **4.3.1 Ulkoinen asiakas**

Ulkoinen asiakas on toiminnan lopullinen rahoittaja (Kallunki 2014, 16 viittaa Leckliiniin). Tyypillisen menestyvän organisaation asiakkaat ovat tyytyväisempiä tehottomiin organisaatioihin verrattuna. Tyytyväisyyttä luodaan kehittämällä omia oppimisen ja kehittymisen taitoja. Parantaminen on keskeinen osa menestyvien organisaatioiden toimintaa. Prosessien suorituskyky, organisaation toimintakyky ja asiakastyytyväisyys paranevat. (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry 2016, viitattu 1.10.2016.)

### **4.3.2 Sisäinen asiakas**

Sisäinen asiakas on yrityksen sisällä, se tarkoittaa, että jonkun vaiheen suorittaja on edellisen vaiheen asiakas organisaation sisällä (Sahi 2010, viitattu 24.9.2016). ”Mikäli sisäinen asiakas ei toimi halutulla tavalla, näkyy se yleensä myös ulkoiselle asiakkaalle tuote- tai palveluvirheen muodossa. Toimitusketjun laadun määrää yleensä sen heikoin lenkki” (Kallunki 2014, 16 viittaa Leckliiniin). ”Sisäisestä asiakkaasta huolehtimalla yritys saavuttaa toiminnan tehostumista, kulujen pienentämistä ja esimerkiksi ilmapiirin paranemista. Pahimmat ilmapiiriongelmat sijaitsevat usein juuri osastojen tai työvaiheiden välillä”. (Leskinen 2011, 17, viittaa Kookas Inc.)

Motivaatiota ei voida olla ottamatta esille sen takia, että työntekijän motivaatio vaikuttaa suoraan hänen työnsä tehokkuuteen (Moisalo 2010). Motivaatio on yksi tärkeimpiä henkilöstön tuottavuuden tekijöitä. Henkilö, jonka motivaatio on korkea, työskentelee ahkerasti saavuttaakseen asetetut tavoitteet. Motivaatio siis määrittelee kuinka halukas työntekijä on käyttämään fyysisiä ja henkisiä voimavarojaan tehdessään työtä. (Ruohotie & Honka 2002, 13.)

## **4.4 Muutoksen alku**

”Muutos alkaa silloin, kun organisaatiossa on riittävästi negatiivisia työntekijöitä eli muutospainetta pois vanhasta toimintamallista tai positiivisia vetotekijöitä kohti uutta tapaa toimia.” Kun sitten positiiviset tai negatiiviset tuntemukset yhdessä tai erikseen tuottavat tarpeeksi suuren syyn toiminnan muutokselle, alkaa muutosprosessi. Parhaimmassa tapauksessa muutoksen pohjalla on sekä negatiivisia että positiivisia syitä. (Martola & Santala 1997, 20.)

#### 4.5 Prosessien tunnistaminen ja kuvaus

Hyvin määritellyt, organisoidut ja kehitetyt prosessit luovat perustan tuotannon ja hallintoon prosessien virtaukselle. Jokainen toiminta tai kehityskulku on mahdollista kuvata prosessina. Kriittiset prosessit ovat usein organisaation liiketoiminta-, pää- tai avainprosesseja. (Laamanen & Tinnilä 2009, 121.) Kuvaamisen kannalta tärkeitä prosesseja ovat myös ulkoistetut, kehitettävät ja avainprosessit sekä prosessit, joissa on rajapintoja tai riskejä. Organisaation kannalta saattaa olla hyvä kuvata myös sellaiset prosessit, jotka ylittävät toimintorajoja tai jotka on mahdollista yhdistää. (Jalonen 2012, viitattu 11.12.2015.)

Prosessien kuvaaminen auttaa mallintamaan organisaation toimintaa ja edistää organisaation toimintaa monella tapaa. Kuvaamisen tavoitteena on kuvata yhteinen näkemys tekemisestä, toiminnasta ja tavoitteista. Prosessien kuvaaminen vähentää toiminnoista aiheutuvia kustannuksia, lisää läpinäkyvyyttä, vähentää virheitä, lyhentää läpimenoaikoja, nopeuttaa perehdyttämistä, auttaa ymmärtämään oman roolin kokonaisuudessa, auttaa rajapintaongelmien ja syy-seuraussuhteiden tunnistamisessa, parantaa ennustettavuutta ja yhteisen tavoitteen ymmärtämistä. Mallinnustapa tulee valita niin, että se palvelee organisaation toimintaa ja kehittämistä riittävän hyvin. Liiketoimintaprosessien kuvaamiseen käytetään yleisesti vuokaaviotekniikkaa. (Jalonen 2012, viitattu 11.12.2015.)

Prosessi kuvataan niin yksityiskohtaisesti, että sen toimintalogiikka selviää. Jos kuvaus liittyy prosessin ja tietojärjestelmien kehittämiseen tai se on osana ongelmanratkaisuprojektia, on tarkempi kuvaus suositeltavaa. Prosessissa toimivien henkilöiden tulee antaa palautetta prosessikuvauksesta ja esittää mahdollisia parantamideoita prosessin omistajalle ja esimiehelle. Heidän vastuulleen on kertoa poikkeamista, joita he havaitsevat sekä antaa palautetta työkaluista ja ohjeista. Prosessissa toimivien henkilöiden tulee kehittää omaa työtään, jotta tavoitteet ja toimintaperiaatteet toteutuvat. Heidän tulee myös osallistua prosessiin liittyviin kehittämisprojekteihin. (Laamanen 2004, 129.)



#### **4.5.1 Lean-ajattelu**

Lean-filosofia on johtamisfilosofia, jonka tarkoituksena on tehostaa yritysten operatiivista erinomaisuutta keskittymällä puhtaasti arvoa tuottavien prosessien tunnistamiseen ja parantamiseen. Jatkuvalla turhien työvaiheiden eli hukkan karsimisella pyritään liiketoimintaan jättämään jäljelle vain arvoa tuottavat prosessit, jotka standardisoidaan jatkuvan laadunparannuksen ylläpitämiseksi. (Jäppinen 2010, Tiivistelmä.)

Lean on myös toimintaan kuluvaan aikaan optimoiva toimintatapa: viiveet ja lisäarvoa tuottamattomat jaksot poistetaan tai ainakin minimoidaan. Tällä tavalla toimimalla automaattisesti parannetaan laatua ja asiakastyytyvääisyyttä sekä vähennetään kustannuksia. (Mäkijärvi 2010, 12.)

Lean on tuottavuuden parantamiseen tarkoitettu ajattelumalli, jonka tarkoituksena on eliminoida seitsemän tuottamatonta toimintaa yrityksessä. Nämä seitsemän hukkaa ovat: kuljetus, varastot, liike, odotusaika, ylituotanto, yliprosessointi ja viallinen tuote. Tuominen (2010, 7) määrittelee hukaksi kaikki toiminnot, jotka lisäävät kustannuksia tuomatta lisäarvoa. Useimmissa prosesseissa on 90 % hukkaa ja 10 % lisäarvoa tuottavaa työtä. Hukkaa on kaikki ylimääräinen tekeminen, joka ei tuo lisäarvoa tuotteelle. Hukan väsymätön poistaminen on Lean-ajattelun ydin.

#### **4.6 Työympäristö tutkittavassa yrityksessä**

Työntekijöiden kierrätettävyys, uudet henkilöt ja työntekijöiden siirtäminen tuotantokriittisille työpis-teille luo omat paineensa kehittää toimintaa. Tuotannon kokoonpanolinjat käyvät tällä hetkellä läpi muutosprosessia. Tukiasemayksiköiden kokoonpanolinjat ovat muuttumassa ja myös työopastus sekä ohjeistus pitää saada uudelle tasolle.

Yrityksen johto tunnistaa teknologian mahdollisuudet. He auttavat ja innostavat teknologian kehittämiseen ja tehokkaaseen soveltamiseen, kannustavat prosessien kehittämiseen ja toteuttamiseen, edistävät luovuutta, innovaatioita ja teknologista osaamista koko organisaatiossa. Lupaavia IT-innovaatioita arvioidaan ja kehitetään. Johdon tehtävänä on vaikuttaa siihen, ettei mikään haittaa innovaatioiden syntymistä ja toteuttamista, käynnistää tarpeelliset kehittämiset ja muutokset.

Johdon tuki tarvitaan resurssien saamiseksi. Tutkimuksien avulla pyritään myös siihen, että johtajilla on riittävät tiedot tehdäkseen päätökset teknologiaprojektien jatkamiseksi tai lopettamiseksi isommassa mittakaavassa.

Nokia Networks toimii matkapuhelinverkkojen tukiasemien tuotekehityksen ja massavalmistuksen välissä niin, että tehtaalla tehdään uusien tuotteiden ensimmäiset erät, ja tämän jälkeen varsinainen massatuotanto siirtyy muualle. Tarvittaessa kapasiteettia löytyy kuitenkin auttaa suurempia tuotantotehtaita. Nokian Oulun tukiasematehtaalla on ollut aina suuri rooli tuotekehityksen lisäksi myös menetelmä- ja teknologiakehityksen suunnannäyttäjänä muille Nokian tehtaille sekä alihankkijoille. Toimintaa on pystyttävä muuttamaan ja kehittämään jatkuvasti, jotta tämä status pystyttäisiin säilyttämään myös jatkossa. Nokia yhdistyi Alcatel-Lucentin kanssa luodakseen innovaatiojohtajan uuden sukupolven teknologioissa ja palveluissa IP-yhteyksiä hyödyntävään maailmaan. Kauppojen ja kiristyvän kilpailun myötä on yrityksessä odotettavissa uudelleen järjestelyjä ja oma paikka pitää pystyä näyttämään. Nämä kaikki ovat todella suuren luokan muutoksia, jotka johtavat perinpohjaisiin muutoksiin niin yrityksen ajatusmaailmassa kuin organisaatiokulttuurissa. Vaikka ohjeistuksen muuttaminen on vain yksi osa, jossa voidaan yrityksen toimintaa parantaa, kokonaisuutta ajatellen se voi tuoda yritykseen kilpailuetua muihin verrattuna, esimerkiksi laadun paranemisena ja toimitusnopeutena.

Työohjeistusta parantamalla on tarkoitus saada tuotteet toimitettua nopeammin ulkoiselle asiakkaalle sekä parannettua tuotteiden laatua. Prosessissa työntekijät voivat vaihtua monista eri syistä. Uusia henkilöitä voi tulla taloon, henkilöt voivat siirtyä tehtävästä toiseen, poissaolot lomien tai muiden syiden vuoksi, työkierrot ja seisokit aiheuttavat työntekijöiden liikkuvuutta eri tehtävissä. Henkilöstön tyytyväisyys, työergonomia, kannustava työympäristö, työn mielekkyys, osallistuminen ja kehityskohteiden suunnittelu auttaa ihmisiä kehittämään suorituksiaan. Lisäksi he tarvitsevat toimivat työkalut tehdäkseen oman osuutensa hyvin. Työohjeistus tehdään sisäiselle asiakkaalle eli kokonpanijalle, vaikkakin myös ulkoinen asiakas saa hyödyn laadun paranemisena ja tuotteiden nopeampana toimituksena. Ohjeistusta suunniteltaessa on huomioitava, että kokoonpanotyötä tekevien lähtötaso ja kokemus voi olla hyvinkin erilainen. Tavoitteisiin sitoutuminen on menestyksen edellytys. Ryhmän jokaisella jäsenellä on oltava selkeät yksilölliset tavoitteet. Yksilöllinen tavoitteellisuus on tärkeää, jotta jokainen tuntee vastuunsa ja ei jätä tavoitetta muiden tiimin jäsenten vastuulle. Motivaatioon vaikuttavat monet eri tekijät esimerkiksi työympäristön toimivuus, saatavissa oleva ohjeistus, ohjeiden toimivuus ja oikeellisuus yms. Häiriötä saattavat aiheuttaa lisäksi mm. työntekijän poissaolot, lomat, osaamattomuus, työkierrot, ja koulutukset.

Muutospainetta pois vanhasta toimintamallista eli tämän hetkisestä ohjeistuksesta aiheuttaa mm. eri käytäntö eri työpisteissä; osassa ohjeet ovat perinteisesti paperisessa muodossa ja osassa taas PowerPoint-formaatissa näyttöpäätteeltä katsottavissa. Ohjeet eivät ole helposti käytettävissä; ohjeita pitää selata, jotta oikea työvaihe sivu löytyy, tämä siis ongelmana molemmissa edellä esitetyissä esitystavoissa. Työohjeet ovat lähellä työpistettä, mutta niiden käyttö vaatii aina itse työn keskeyttämistä. Ohjeiden päivitykset eivät ole välttämättä ajan tasalla tai käyttäjillä ei ole tietoa ohjeiden päivityksestä tai mikä kohta ohjeista on päivitetty.

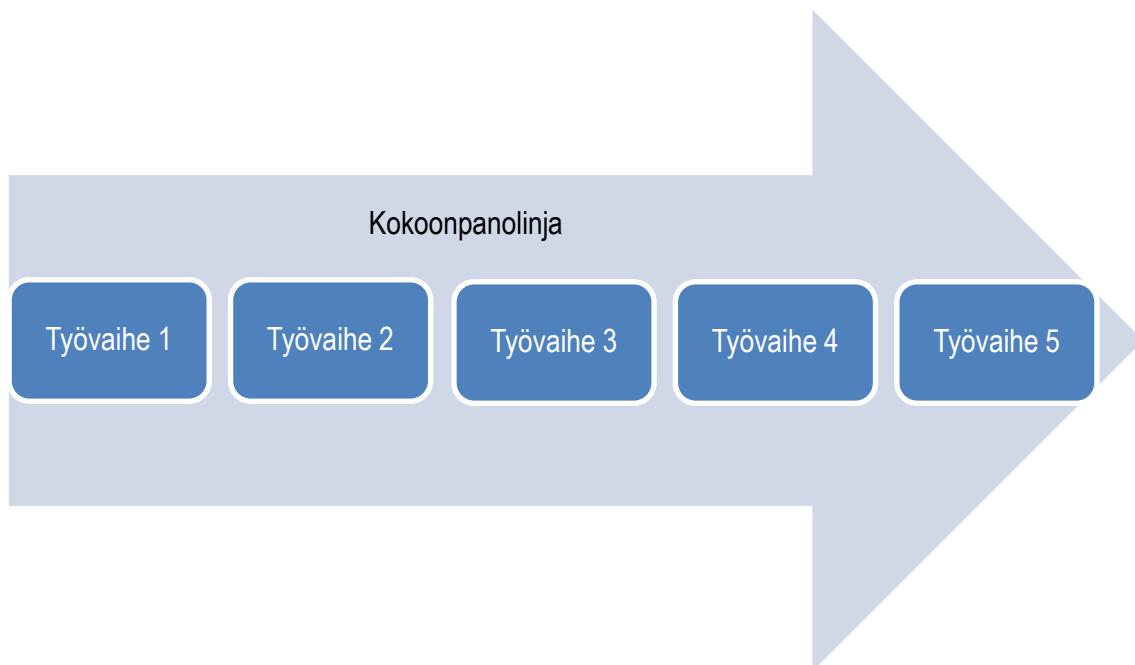
Positiivisina vetotekijöinä voisi mainita mahdollisen uuden innovatiivisen teknologian käyttäminen, jonka tarkoitus olisi toimia osana jopa laadun tarkastustakin ja täten parantaa tuotteiden laatua, vähentäen tuotteiden korjaustarvetta ja jopa asiakaspalautuksia. Lisäksi teknologia avulla on mahdollista nostaa tuottavuutta, motivoida työntekijöitä ja vähentää uusien henkilöiden perehdytykseen käytettävää aikaa. Perehtyminen uusiin teknologioihin hyvissä ajoin on myös tulevaisuuteen ennakointia, vaikka tässä vaiheessa huomattaisiinkin, että tällä hetkellä saatavissa olevat teknologiat eivät vastaa tarvetta tai ovat vielä liian kalliita.

Työohjeistuksen luontiprosessin ymmärtäminen kokonaisuudessaan on tärkeää, jos työohjeistuksen esitystapaa on tarkoitus radikaalisti muuttaa. Monet eri järjestelmät, työkalut ja ihmiset liittyvät työohjeistuksen luomiseen ja ko. prosessin tehtävät ulottuvat eri organisaatioiden alle. Prosessikaavion avulla nähdään kokonaiskuva työohjeistuksen tärkeimmistä työvaiheista sekä niihin sisältyvistä vastuista, tehtävistä ja järjestelmistä. Tuotannossa on käytössä useita eri järjestelmiä, joiden välillä tapahtuu tiedonsiirtoa. Ohjelmien väliset rajapinnat on ymmärrettävä kehitettäessä työohjeistusta. Työohjeistuksen sekä itse prosessin prosessikaaviokuvauksia on yrityksessä jo olemassa, joten niitä ei ole sisällytetty tähän opinnäytetyöhön.

## 5 YRITYKSEN KOKOONPANOLINJAT

Tutkittavan yrityksen yhdeksi ydinprosessiksi on määritelty tuotanto. Opinnäytetyössä keskitytään tuotannon aliprosesseihin filter (suodatin)- ja yksikkökokoontolinjojen työohjeistukseen. Uusilla kokoonpanolinjoilla on edellä mainittujen linjojen kaikki toiminnot yhdistetty samalle linjalle. Kokoonpanolinjoilla tuotteisiin asennetaan osat, tehdään tarvittavat viritykset ja testaukset. Erilaisilla testauksilla varmistetaan tuotteen sähköinen toiminta ennen tuotteen toimittamista asiakkaille. Linjoilla käytetään tuotteesta riippuen useita eri työvälineitä mm. ruuvaustyökaluja, juotoskolveja, viritys- ja testauslaitteita, sähkö- ja ilmanpaineruuvaustyökaluja, näyttöpäätteitä, viivakoodinlukijoita ja tarratulostimia.

Kokoonpanolinjasta riippuen on kokoonpanolinjalla koottavalle tuotteelle eri määrä työvaiheita. Työvaihe voidaan ajatella työpisteeksi, jossa tarvittavat ohjeet, materiaalit ja työkalut ovat kokoonpanijan saatavilla. Tuote (filter/yksikkö) kulkee kaikki työvaiheet järjestyksessä, eri työvaiheissa tehdään useita eri tehtäviä. Kuviossa 22 on esitetty kokoonpanolinjan periaatteellinen toiminta.



KUVIO 21. Kokoonpanolinjan rakenne

Linjan jokaisen työvaiheen näyttöpäätteelle on aukaistavissa tuotekohtainen PowerPoint-työohje. Sama ohje on käytettävissä jokaisessa työvaiheessa. Työohjeessa on kerrottu vaihe vaiheelta jokaisen työvaiheen suoritus käytettävine tarvikkeineen ja työkaluineen. Tarvittaessa kokoonpanija seuraa työohjeita näytöltä hiirellä selaamalla.

Tuotteen kokoonpano tapahtuu pöydällä, jota kokoonpanija työntää työpisteestä seuraavaan edellisen työvaiheen valmistuttua. Pöydän korkeus on säädettävissä kokoonpanijalle sopivaksi. Pöydän kansiosaa on tarvittaessa mahdollisuus pyörittää ympäri. Linjan lopussa pöytä vapautuu, ja pöytä kuljetetaan takaisin linjan alkupäähän. Uudella tavalla rakennetussa kokoonpanolinjassa kokoonpanija suorittaa pääsääntöisesti itse kokonaisuudessaan tuotteen kokoamistyön kuljettamalla tuotteen tarvittavien kokoonpanotyöpisteiden kautta.

Linjoilla tehtävät tyypilliset toiminnot voidaan karkealla tasolla kuvata kuvion 23 mukaisesti.



*KUVIO 23. Kokoonpanolinjan toiminnot pääpiirteissään*

Kokoonpanolinjat toimivat kolmivuorossa, ja linjalla työskentelee tuotteesta, linjasta ja tarpeesta riippuen tietty määrä henkilöitä. Jokaisella linjalla ja vuorolla on määritelty omat tuottavuustavoitteet. Henkilöt jaetaan vuoron alussa eri linjoille sen mukaan, mitä tuotetta ja minkä verran yksiköitä on tarkoitus tehdä. Linjoilla on työkiertoa ja työntekijöitä vaihdellaan tarpeen mukaan.

Uusilla linjoilla ergonomia on otettu paremmin huomioon, mutta kehitystyö on vielä kesken. Linjoilla joutuu mahdollisesti kurottelemaan eri ruuvaustyökaluihin, hiireen, näppäimistöön, viivakoodinlukijaan ja kokoonpanossa käytettäviin osiin kuten komponentteihin ja levyihin.

Eri kokoonpanolinjoilla kootaan useita eri tuotteita. Tukiasematuotannon loppu- eli yksikkökokoonpanolinjat käyvät tällä hetkellä läpi muutosprosessia. Tukiasemayksiköiden kokoamistapa on muuttumassa, ja myös työn opastus ja ohjeistus pitää saada uudelleen tasolle. Linjoilla on menossa samanaikaisesti myös useita muita eri kehittämishankkeita, esimerkiksi siirtyminen paperisista ohjeista digitaaliseen muotoon.

## 5.1 Työohjeet yrityksessä

Yrityksessä on työohjeiden luomiselle ja muutoksen hallinnalle olemassa useita eri prosessimalleja riippuen missä tuotteen elinkaarenvaiheessa tuote on, ja onko ohjeessa kysymys globaalin vai paikallisen ohjeen muutoksesta. Riippuen työohjeista, niiden prosessi sekä hyväksymisketjussa olevien ihmisten rooli saattaa olla erilainen ja myös hyväksymiskäytännöt voivat poiketa toisistaan. Työohjeissa mainituille osille ja erikoistyoikaluille on myös vastaavasti omat hyväksyntäprosessit. Yleensä työohjeiden muutoksen yhteydessä päivitetään myös useita muita dokumentteja esimerkiksi BOM (Bill Of Material), IN (Implementation Note), CN (Change Note) ja PD (Production Device). Viralliset työohjeet ja dokumentit tallennetaan PDM:ään (Product Data Management) eli tuotetiedonhallintajärjestelmään, joka tarkoittaa ohjelmistoympäristöä, joilla hallitaan keskitetysti yrityksen tuotteisiin liittyvää tietoa ja tiedostoja. PDM:stä ohjeet siirretään tarvittaessa Nokian globaaliin tietokantaan sekä yrityksen sisäiseen intranetpalveluun, eli lähiverkkoon. Tällä varmistetaan se, että versiot ovat kaikkien tuotannon työntekijöiden saatavilla. Tallennusrakenteet, nimeämiset, versiot yms. on erikseen ohjeistettu.

Kokoonpanossa käytettävät kokoonpano-ohjeistuksen työohjeet tuotetaan tällä hetkellä standardilla PowerPoint-pohjalla, joten yhtenäinen toimintamalli on olemassa, ja ohjeiden kokonaiskuva välittyy aina samassa muodossa. Ohjeiden sisällön tuotantoon on olemassa tarkat ohjeet, joissa on määritelty esimerkiksi käytettävät asetukset ja fontit. PowerPoint-sivut sisältävät kuvia ja tekstiä. Työohjeiden tekemistä sinänsä ei ole standardoitu eikä automatisoitu. Tukiasematehtaan kokoonpano-ohjeistus on joissakin työpisteissä edelleen perinteisesti paperisella tulosteella ja osassa taas PowerPoint-formaatissa näyttöpäätteeltä katsottavissa.

Käyttöohjeet ovat mahdollisimman yksinkertaiset ja selkeät, jotta ohjetta hyödyntämällä kokematonkin työntekijä pystyy suorittamaan kokoonpanotyön ja tulkitsee oikein ohjeet. Ohjeista pitää löytäytyä kokoonpanotyössä tehtävät kaikki työvaiheet ja tarvittavat tiedot. Yksinkertaiselle ohjeistukselle

on tarve, sillä kaikkien työpanos on tärkeä, myöskään ylimääräiseen opastukseen ei haluta käyttää enempää aikaa kuin tarve. Lomien aikana saattaa uusia opastettavia tulla paljon kerralla joten ohjeistuksen olisi toimittava kaiken kattavasti. Myös työkierto, työhön tutustumiset yms. lisäävät hyvän ja yksinkertaisen ohjeistuksen tarvetta.

Tuotantolinjoilla tehdään useita eri tuotteita, joten myös jokaiselle tuotteelle on oltava oma ohje saatavissa. Sama ohje on kuitenkin käytössä linjan jokaisella työpisteellä. Työohjeet tulisi lajitella työpisteittäin siten, että jokaisella työpisteellä olisi ainoastaan oikea ja oleellinen tieto helposti saatavissa.

Ennen uuden työvaiheen aloittamista on aina tehtävä ”alustamistehtävänä” ohjeiden lataus alkuun oikealle kohdalle, joko hakemalla paperista oikea kohta tai selaamalla hiirellä näytön PowerPoint-ohje oikealle sivulle. Työohjeita käytettäessä kokoonpanolinjalla työskentelevä henkilö valitsee aina kyseiseen työtehtävään liittyvän ohjesivun. Kun kokoonpanolinjalla valmistettava tuote vaihtuu eri tuotteeseen, oikeat työohjeet on otettava käyttöön. Osassa vanhojen linjojen työpisteissä oleva paperilta selattava ohjeistus tapa on tarkoitus kokonaan poistaa käytöstä kehitettäviltä alueilta. Paljon samaa kokoonpanotyötä tehneet työntekijät eivät välttämättä tarvitse tai käytä ohjeita, kokeneet työntekijät muistavat työvaiheet. Virheiden välttämiseksi on työ kuitenkin suoritettava ohjeistuksessa kerrotun järjestyksen mukaisesti. Onko tiettyjen ohjeiden tai opasteiden seuraamisen/kuitaamisen syytä olla ”pakotettu”, voidaanko tämä jotenkin ottaa huomioon lisätyn todellisuuden järjestelmässä?

Muutettaessa työohjeita lisätyn todellisuuden ohjeiksi on työohjeiden mahdollisia erilaisia esitysvaihtoehtoja ja ideoita etsittävä kokeilemalla ja työntekijöiden haastatteluilla. Ohjeiden selkeyttä, ymmärrettävyyttä ja visuaalisuutta on mahdollista parantaa tietyiltä osin esimerkiksi esittämällä työohjeet animaatioesityksien avulla. Työohjeiden sisältöä ei ole tarkoitus muuttaa, ja niiden rakennetta voidaan käyttää hyväksi siltä osin kuin mahdollista. Työohjeiden jokainen työvaihe on kuitenkin käytävä läpi ja mietittävä jokaiseen tilanteeseen sopiva lisätyn todellisuuden ohjeistus. Ohjeiden selaaminen voidaan suorittaa monella eri tavalla, esimerkiksi hiirellä, jalkakytkimellä tai kosketusnäytön avulla. Tällä hetkellä ongelmana on ohjeiden irrallisuus työstä, ohjeita ei käytetä ja oikean tiedon löytymiseen menee aikaa.

### 5.1.1 Paikalliset ja globaalit ohjeet

Kokoonpano-ohjeet tehdään englannin kielellä, ja käännetään kohdemaan tuotantoon työntekijöiden äidinkielelle. Paikallisten työohjeiden pitää noudattaa globaalia työohjetta. Sopimusvalmistajien (EMS, Electronics Manufacturing Services) tehtailla on käytössä myös samat työohjeet, jotka on tallennettava tehtailla käytössä oleviin tiedonhallintajärjestelmiin.

Oulun tuotantolinjalla kokoonpanotyöohjeissa käytetty kieli on suomi. Tällöin ohjeet ovat nopeammin ymmärrettävässä muodossa, vaikka ”kaikki suomalaiset osaavat englantia”, niin silti sujuvalla suomen kielellä esitetyt ohjeet ymmärretään nopeammin. Tämä tarkoittaa, että tulee vähemmän virheitä ja väärintymmärryksiä. Tuloksena on tehokkaampi työskentely, parempi tuottavuus ja vähemmän avun tarvetta.

Toimiessaan lisätyn todellisuuden järjestelmä voidaan ottaa käyttöön globaalisti kaikilla Nokian tehtailla sekä alihankkijoilla heidän niin halutessaan. Periaatteessa lisätyn todellisuuden ohjeet ovat käännettävissä tarvittaessa PowerPoint-muotoon, jos kaikilla tehtailla ei ole lisätyn todellisuuden järjestelmää käytössä. Teknologiaa kokeiltaessa selviää tarkemmin mitä kaikkea on otettava huomioon, jos lisätty todellisuus otetaan käyttöön myös muilla tehtailla (Nokia tehtaat ja EMS).

### 5.1.2 Ohjeiden päivittäminen

Ohjeita muokataan ja päivitetään tarpeen mukaan. Päivitys tehdään hyväksyntätyökalun ja useiden eri hyväksyjien kautta. Käytettäessä paperisia ohjeita päivitettyt työohjeen sivut tulee myös tulostaa ja vaihtaa tuotannon työpisteissä oleviin kansioihin. Edellä mainitut työvaiheet lisäävät työtä. Paperisten ohjeiden erityisvaatimuksena on, että ne on yksittäispakattava ESD (Electro Static Discharge) -suojattuihin muovitaskuihin, näiden avulla suojataan elektroniikka sähköstaattisilta purkauksilta.

Ongelmana voi joskus olla, että ohjeiden päivitykset eivät ole välttämättä ajan tasalla, käyttäjillä ei ole tietoa, että ohjeita on päivitetty tai mikä kohta ohjeista on päivitetty. On päivitettävä sekä globaalit ohjeet että paikalliset ohjeet. Koska ohjeiden päivittämisessä ja hyväksymisessä menee aikaa, viralliset ohjeet saattavat olla linjalla myöhässä saatavilla. Olivatpa ohjeet sitten tulostettuja tai verkkoon talletettuja, ohjeiden päivityksestä on tiedotettava kaikkia asianomaisia henkilöitä.



## 5.2 Laitteisto

Tällä hetkellä uusilla linjoilla työohjeita näytetään tietokoneen näytöltä, joka ei välttämättä ole kokonpanotyötä tekevän suorassa näkökentässä. Mahdollisia vaihtoehtoja on syytä miettiä, jos ohjeistusta muutetaan. Pienempien laitteistojen avulla tilaa vapautuisi myös muuhun käyttöön. Työ-  
pisteessä voisi esimerkiksi käyttää pienempiä tablettinäyttöjä liikuteltavan kääntövarren päässä, jolloin ohjeet saataisiin tarvittaessa paremmin käyttäjän nähtäville. Tulevaisuudessa työohjeistus voisi tulla suoraan käyttäjän silmille uuden teknologian lasien avulla. Ohjeistuksessa käytettävissä laitteissa on myös otettava huomioon turvallisuusasiat niin, ettei niistä aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa. Käytettävät laitteet on myös määräajoin tarkistettava ja huollettava. Ohjelmien toimivuus ja ajanmukaisuus varmistetaan aika ajoin tehtävillä päivityksillä. Jos myöhemmin hankitaan käyttöön lisätyn todellisuuden laseja, on selvitettävä mm. tarvitsevatko lasit kalibrointeja, huoltamista, ESD-mittauksia ja miten nämä hoidetaan.

## 5.3 Käyttöliittymä ja ohjelmisto

Suunniteltaessa uutta järjestelmää joudutaan etsimään ja vertailemaan tarkoitukseen parhaiten soveltuvaa ohjelmistoa ja käyttöliittymää. Käyttäjäystävällinen järjestelmä olisi tuottavuuden ja tulosten virheettömyyden suhteen muita parempi. Jotta ohjeet saadaan sulavasti liitettyä työvaiheeseen, on mietittävä, millä tavalla ja ohjelmistolla ohjeet saadaan käytännössä toimimaan.

## 5.4 Tuotteiden tunnistus

Tuotannossa jokaiselle ladotulle piirilevykortille, suodattimella ja yksikölle luodaan yksilöllinen sarjanumerotarra. Sen avulla tuote ja siihen käytetty materiaali voidaan jäljittää elinkaaren alusta loppuun saakka. Kaikki sarjanumerot luetaan viivakoodinlukijalla tuotannonjärjestelmään. Sarjanumeron esitys voi olla joko perinteinen lineaarinen yksiulotteinen viivakooditarra tai kaksiulotteinen (2D) kuviokooditarra, jossa pienelle alueelle saadaan mahtumaan enemmän tietoa (sisältää informaatiota sekä vaaka- että pystysuunnassa). Lukeminen tapahtuu viivakoodinlukijalla, joka on paikasta riippuen asennettu linjaan tai on käytettävissä irrallisena laitteena erillisestä telineestä. Lisätyn todellisuuden avulla on myös mahdollista lukea viivakoodeja. Tuotevariaation tunnistamiseen voidaan käyttää myös RFID (Radio Frequency Identification) -tekniikkaa, joka on osoittautunut useiden eri yritysten projekteissa toimivaksi ratkaisuksi myös tuotanto-olosuhteissa.

## 5.5 Työkierto ja perehdyttäminen

Työkierrolla tarkoitetaan organisoitua ja vertailuoppimisen mahdollistavaa henkilöstön kehittämismenetelmää, jossa työntekijä siirtyy vapaaehtoisesti määräajaksi toiseen tehtävään oppiakseen ja kehittyäkseen. Tavoitteena on asiantuntijaorganisaatiossa karttuneen erityisosaamisen laajentaminen ja ammattitaidon monipuolistuminen. Työkierto toimii myös osaamisenhallinnan apuvälineenä ja sen avulla voidaan motivoida henkilöstöä laajalti. Työyhteisössä koetaan myös olevan paljon hiljaista tietoa ja osaamista, jota pitää pystyä jakamaan muille työyhteisön jäsenille. Työkierron kesto voi vaihdella, mutta on keskimäärin 3–12 kuukautta. (Laine & Haili 2013, viitattu 24.9.2016)

Yrityksen henkilöstöä ohjataan ja kannustetaan uusiutumaan ja kasvattamaan ammattitaitoa työkierrolla. Linjalla perehdytetään työntekijöitä työhön useista eri syistä johtuen. Työhön perehtymistä tapahtuu työkierrossa, työhön tutustumisessa, uusien henkilöiden tullessa tehtäviin, työhön palaa-ville henkilöille ja tuotteiden tuotesiirtojen yhteydessä.

Työkierron avulla henkilöstöllä on mahdollisuus irrottautua päivän rutiineista ja kerätä kokemuksia talon muista työtehtävistä. Henkilöstön kehitys, jokaisen jatkuva oppiminen voi avata silmät myös omaa työtä kohtaan, ja opittua voidaan käyttää hyödyksi oman toiminnan kehittämiseen. Työkierrolla saadaan monipuolisuutta työhön sekä pystytään tarvittaessa siirtämään työvoimaa työpisteestä toisaalle. Oppimisella ja kehittämisellä vahvistetaan yrityksen kilpailukykyä. Kun yritys kannustaa, tukee sekä antaa mahdollisuuksia jatkuvaan oppimiseen ja kehittymiseen, se puolestaan tekee työstä innostavaa, tuo vaihtelevuutta, nostaa viihtyvyyttä ja tekee työstä jopa hauskaa. Työn mielekkyys lisääntyy. Parhaiden käytäntöjen leviäminen lisää koko organisaation oppimista. Osaaminen, oppiminen ja kehittyminen takaavat menestyksen ja jatkuvuuden. Yrityksen tuotannossa työkierto on laajasti käytössä – myös eri osastoilta otetaan tuotantoon esimerkiksi päiväksi tutustumaan.

Työkierrossa uusi henkilö on perehdytettävä kokonaan uusiin työtehtäviin. Usein perehdyttämisen on hoitanut linjalle nimetty tukihenkilö tai muu kokenut työntekijä. Mikäli tukihenkilö tai kokenut työntekijä ovat esimerkiksi lomalla tai sairaana, ja toista korvaavaa tietotaitoista työntekijää ei ole paikalla, kokoonpanon sujuvuus vaarantuu ja kokoonpanovirheiden mahdollisuus kasvaa. Vaikka kyseinen tukihenkilö tai muu kokenut työntekijä olisikin paikalla ja avustaisi tarvittaessa, hän joutuu keskeyttämään oman työnsä ja käyttämään työaikaansa ohjeistamiseen, jolloin hänen oman työtehtävänsä tuottavuus pienenee. Tuotannossa oleva työohjeistus on kaikille sama eikä ota kantaa ihmisten erilaisuuteen tai eri kansallisuuteen. Englanninkieliset ohjeet ovat saatavissa tarvittaessa.

Kokoonpanolinjoilla tapahtuva työkierto tekee ongelmaksi sen, että aikaisemmin opitun työpisteen työvaiheista on voinut unohtua jotain oleellista muiden työpisteiden työvaiheiden opiskelun aiheuttaman kuormituksen vuoksi. On myös mahdollista, että kokoonpanoon on tullut muutoksia, jotka vaikuttavat kokoonpanotyöhön eikä työhön palaavalla henkilöllä ole tietoa asiasta. Kaikista työkierron aikana tapahtuneista muutoksista on muistettava erikseen tiedottaa.

Tehtaan tuotesiiroissa siirretään tuotannossa valmistettavia tuotteita valmistukseen suurikapasiteettisille Nokian ja alihankkijoiden globaaleille tehtaille. Työhön perehtyminen tapahtuu useissa tapauksissa Oulussa. Perehdyttäjän on löydettävä tällöin käyttöön globaalit työohjeet ja perehdytettävä tekijät globaaleilla ohjeilla, vaikka normaalisti käyttäisi paikallisia ohjeita. Lisätyn todellisuuden järjestelmät mahdollistavat erittäin havainnollisen tiedon visualisoinnin kansallisuuksista ja kulttuurieroista riippumatta.

## 5.6 Kokoonpanon hukat

Tutkittavan yrityksen tuotannossa hukka voi ilmetä esimerkiksi seuraavassa luetelluilla tavoilla.

**Tarpeeton liike työskentelyssä** liittyy työympäristön liikkeen suunnitteluun. Resursseja hukataan aina, kun työntekijän täytyy keskeyttää työnsä (etsiä tietoa, tarvikkeita tai työkaluja), kurottaa tai kävellä saattaakseen työtehtävänsä loppuun. On tärkeä minimoida jokainen työtehtävän suorittamiseen vaadittava liike työpisteessä. Hyvin suunniteltu ergonominen työpiste työkaluineen ja materiaaleineen vähentää hukkaan menevää aikaa. Hyvällä työergonomialla voidaan myös välttää mahdolliset rasitusvammat sekä voidaan ehkäistä tuottavuuden, laadun ja turvallisuuden heikentymistä. Tuotteen kokoonpanovaiheiden tavoitteena on, että kokoonpanijan tarvitsemat osat olisivat kaikki läheltä saatavissa. Uusi työntekijä käyttää aikaa työohjeiden lukemiseen ja usein myös hänen tapansa, jolla työtä tehdään, ei aluksi ole harjaantunut. Työ voidaan tehdä vaihtuvalla tavalla tai ergonomia voi olla huono.

**Viivästelyä ja odotusta** aiheutuu monissa vaiheissa. Myöskään odotus ei tuo arvoa asiakkaalle. Odotus voi ilmetä henkilöstöllä esimerkiksi seisoskeluna työpisteen vieressä. Odottelu voi johtua välttämättömistä, mutta ei-arvoa lisäävistä toimista, kuten esimerkiksi tarkastuksista. Teknologian häiriöt tai toimimattomuus, työntekijän epävarmuus, työohjeiden etsiminen ja lukeminen voivat aiheuttaa odottelua. Odottelu on suurin vaikuttaja toimitusaikaan. Toimitusajalla tarkoitetaan kuluvaa aikaa asiakkaan tilauksesta palvelun tai tuotteen luovutukseen asiakkaalle. Odottamista syntyy myös, kun edellinen/seuraava toiminto ei ole vielä tehnyt vaihettaan tai henkilö ei ole tullut paikalle.

Esimerkiksi tilanteessa, kun linjan henkilö työskentelee hitaammin kuin muut, henkilö voi olla vaikka uusi henkilö. Myös mahdollisiin häiriöihin varautuminen auttaa välttämään tarpeetonta odottelua. Usein yrityksessä tiedostetaan, millaisia häiriöitä päivittäisissä prosesseissa voi esiintyä. Lämpimenoaikaa saa lyhennettyä poistamalla odottelun ja liikkeen hukkaa.

**Yliprosessointi** on ylimääräistä työtä, jota ei tarvitsisi tehdä asiakkaan vaatimusten täyttämiseksi. Ylimääräistä työtä voi aiheuttaa esimerkiksi huono suunnittelu, huonon työkalun aiheuttama lisätyö tai tuotteen ylimääräiset tarkastukset. Työntekijät tekevät kovasti töitä, mutta eivät parhaalla mahdollisella työtavalla. Usein perehdyttämisen puute aiheuttaa huonosti suunniteltuja työmenetelmiä.

**Virhekustannukset eli laatu hukka** syntyvät mm. laaduttomasta toiminnasta, virheellisten tuotteiden tarkastamisesta, lajittelusta, korjaamisesta sekä asiakasvalituksista. Myös kiire tai tauot voivat aiheuttaa laatu hukkaa. Tuotannon vuorotyössä työskentelevät menevät tauoille vain määrätyillä taukoajoilla. Omat haasteensa on muistaa, mitä työvaihetta oli juuri ennen taukoa tekemässä. Työntekijän inhimillisen erehdyksen tai unohduksen vuoksi kokoonpanossa voi tapahtua virhe, ja pahimmassa tapauksessa virhe kertaantuu kokoonpanon edetessä tuotantolinjalla aiheuttaen myös seuraavien työpisteiden työvaiheille uusia kokoonpanon virhemahdollisuuksia. Mikäli kokoonpanossa tehdään virhe, jota ei havaita ja korjata ennen tuotteen asiakkaalle pääsyä, aiheutuu tilanteesta kustannuksia, kun tuotetta korjataan asiakkaan luona tai jopa vaihdetaan tilalle kokonaan uusi tuote. Kokoonpanolinjan yhtenä työvaiheena on tuotteen testaus. Kaikkia kokoonpanon mahdollisia virheitä testausjärjestelmilläkään ei aina havaita, ja vaikka virhe havaittaisiin jo testausvaiheessa, tilanteesta aiheutuu silti kustannuksia, kun tehdyn virheen korjaamiseen käytetään ylimääräistä aikaa. Vaikka tehtaalla tehtävät korjaustyöt ovat kustannuksiltaan huomattavasti pienempiä kuin asiakkaan reklamaatiosta aiheutuvat, ovat ne kuitenkin kuluja, joita vähentämällä laatu virhekustannukset pienenevät.

**Vialliset tuotteet** aiheuttavat lisää kustannuksia, oli kyse sitten huonosta laadusta, huonoista ohjeista tai standardoimattomasta työstä. Koneiden huono kunnossapito voi johtaa vikojen määrälliseen kasvuun. Viallinen tuote tai palvelu voi aiheutua myös suunnittelussa, kun ei ymmärretä mitä asiakas haluaa tai tuotteelle/palvelulle ei ole todellista kysyntää. Se, että kehitetään monimutkainen tuote tai palvelu, ei automaattisesti tarkoita sen olevan asiakkaan arvostama tai omaavan ominaisuuksia, mistä asiakas suostuisi maksamaan. Sisäiset virhekustannukset ovat kustannuksia virheistä, jotka havaitaan ja korjataan yrityksen sisällä ennen tuotteen toimittamista asiakkaalle. Ulkoiset virhekustannukset ovat virheitä, jotka havaitaan tuotteen asiakkaalle toimittamisen jälkeen.

Seurantakustannukset ovat laadun tarkkailemisesta aiheutuvia kustannuksia. Ennaltaehkäisyn kustannukset liittyvät suunnittelu ja kehittämiskulujen toimenpiteisiin, joiden avulla ehkäistään virheiden syntymistä. Laatuvirheet hukkaavat materiaaleja ja resursseja ja siten johtavat asiakastytymättömyyteen. Analysoimalla erilaisista lähteistä saatavia tietoja, mittareilla arvioidaan toimintajärjestelmien sopivuutta, vaikuttavuutta ja kehittämistarpeita.

## 5.7 Työergonomia ja työturvallisuus

Ergonomia on tekniikan ja toiminnan sovittamista ihmisille. Sen avulla parannetaan ihmisen turvallisuutta, terveyttä ja hyvinvointia sekä järjestelmien häiriötöntä ja tehokasta toimintaa. Fyysinen ergonomia keskittyy fyysisen toiminnan sopeuttamiseen ihmisen anatomisten ja fysiologisten ominaisuuksien mukaisiksi. Fyysinen ergonomia korostuu työympäristön, työpisteiden, työvälineiden ja työmenetelmien suunnittelussa.

Ohjeistuksen muuttamisen tarkoitus on myös parantaa työntekijöiden ergonomiaa vähentämällä turhaa kurottelua työohjeisiin tai hiireen. Tällä hetkellä näytöt eivät ole ergonomisesti parhaalla paikalla, työ joudutaan keskeyttämään aina ohjesivua vaihdettaessa. Näyttö sijaitsee kokoonpanotyötä suorittavan henkilön sivulla. Kehittämällä työohjeistusta käyttäjäläheisemmäksi voidaan kehittää samalla myös ergonomiaa. Viivakoodinlukeminen RFID-tunnistuksen tai lisätyn todellisuuden avulla tulevaisuudessa vähentäisi ylimääräisiä liikkeitä.

Uusien hankkeiden yhteydessä TTT (Työterveys- ja työturvallisuusjärjestelmä) -ongelmat sekä riskien mahdollisuudet on kartoitettava. On myös huomioitava lakisääteiset vaatimukset, arvioitava mahdollisten riskien vaikutusten laajuudet ja vakavuudet sekä niiden ajallisuus, ongelman vaikeus, kustannukset ja esitetyt huolet ja asiat. Käyttäjällä pitää olla ohjeet laitteiden turvalliseen käyttöön ja tiedossa laitteeseen liittyvät mahdolliset haitat ja niiden seuraukset. Jos esimerkiksi älylasit otetaan tulevaisuudessa käyttöön, on selvítettävä tarvitaanko varoituksia. Tuotteisiin liittyvät lakiin perustuvat vaatimukset, standardit, merkintävaatimukset, CE-merkintä vaatimukset on syytä selvittää. Oletuksena on, että kaikilla kokoonpanotyössä työskentelevillä henkilöillä on perustaso tuotannosta: tuotannon laaturahdytys-, ESD- yms. materiaalit on käyty läpi.

## 5.8 Ympäristöasiat ja ekologisuus

Liiketoimintojen lisäksi yrityksen on pidettävä huolta ympäristöasioista. Asiakkaat ovat kiinnostuneita yrityksen ympäristöpolitiikasta. Yrityksen on luotava edellytykset toimia ympäristöä säästävällä tavalla sekä parantaa ympäristösuojelunsa tasoa jatkuvasti ja kustannustehokkaasti. Kun ympäristöasioita edistetään järkevästi, yritys myy myös ympäristöystävällistä mielikuvaa. Viestintä ympäristöasioista on tärkeää sekä ulkoisen yrityskuvan, että ympäristömääräysten vuoksi. Ympäristöasioiden kehittyminen hyödyntää koko yhteiskuntaa. Pienilläkin muutoksilla parannetaan kestävä kehitystä. Kielteisiä ympäristövaikutuksia ovat mm. jätteen syntyminen. Siirtymällä tuotannossa kokonaan digitaaliseen ohjeistukseen vähennetään paperinkulutusta, joka on merkittävä ympäristökuorman aiheuttaja. Paperin kulutusta voidaan pienentää esimerkiksi lisäämällä kaksipuolisten tulosteiden määrää. Sähköisen ohjeistuksen päivittäminen ja käyttäminen on nopeampaa kuin paperisen. Uuden teknologian käyttö voi antaa mahdollisuuden laajentaa ohjeistuksen siirtämisen paperittomaan muotoon myös muissa tuotannon prosesseissa.

## 5.9 Havainnointi

Opinnäytetyön aloituksen aikoihin tarjoutui järjestetty tilaisuus tutustua kokoonpanolinjan havainnointiin. Osana tehtaan tuottavuuden kehittämistoimia järjestettiin tehtaan ja sidosryhmien toimihenkilöille tuotantotyöhön tutustumista. Havainnointi tapahtui ”uuden henkilön perehdytys-roolissa”. Tutkimustilanteen annettiin ohjata kiinteästi havaintoja ja kysymyksiä. Tällä tavoin oli mahdollista toimia ryhmässä muiden mukana samalla havainnoiden ja haastatellen. Tarkoitus ei ollut kyseenalaistaa tai vaikuttaa työn suorittamiseen.

### Havainnointipaikka ja -aika

Havainnointi tapahtui Nokia Networksillä yhdellä tuotannon uudella tavalla rakennetulla yksikkökoonpanolinjalla. Yksikkölinjalla yksikkö kootaan eri osista kokonaiseksi yksiköksi eri tehtäväpisteissä. Linja toimii kokonaisessa vuorovaikutuksessa eli toinen tehtäväpiste syöttää toiselle tavaraa. Sama PowerPoint-ohje on linjan jokaisessa tehtäväpisteessä selattavissa hiirellä. Ohje on lähellä työntekijän sivulla ja käytettävissä hiirellä. Työssä toimihenkilö toimi vuorotyöläisten ehdoilla aamuvuoron ajan määrättyllä linjalla. Kyseisessä tiimissä oli jo aikaisemmin tuotantotyöhön tutustumispäivillä perehdytetty toimihenkilöitä työhön.

## Havainnoinnin kohde

Havainnointi oli osallistuvaa aktiivista havainnointia esitutkimukseen yksikön kokoonpanotyöstä, josta ei aikaisemmin ollut kokemusta. Havainnoinnin avulla selvitettiin linjan toimintaa. Sen tarkoituksena oli saada yleiskuva yksikkökokoonpanolinjoilla tapahtuvasta työskentelystä (työtehtävistä) yleensä sekä saada tarkempi ymmärrys linjalla käytettävistä ohjeista, käyttötavoista, käytettävyydestä ja kuinka usein ohjeita luetaan yms. Havainnointi kohdistettiin työntekijöiden aktiivisuuteen käyttää työohjeita ja niiden käytettävyyteen. Havainnoinnissa sai myös hyvän kuvan siitä, millainen tilanne on, kun uusi henkilö tulee linjalle perehtymään työhön. Havainnot kirjoitettiin ylös havainnoinnin päätyttyä. Havainnoinnista ei kerrottu linjan yhteisölle, koska eettisesti tällä ei ollut merkitystä (havainnoitiin työaluetta ja työskentelytapoja).

## Työskentely

Havainnoitavalla linjalla työskenteli kaikkiaan neljä henkilöä: kaksi kokenutta työntekijää ja kaksi uutta henkilöä, joista toinen oli havainnoitsija. Uudet henkilöt eivät olleet työskennelleet ennen kyseisellä linjalla. Toinen oli aikaisemmin työskennellyt eri linjalla, havainnoitsija ei ollut ennen työskennellyt ollenkaan yksikkökokoonpanossa. Toinen linjan kokeneempi työntekijä toimi perehdyttäjänä molemmille uusille henkilöille ja näytti perehdytettävän työvaiheen konkreettisesti samalla käymällä läpi tietokoneen ruudulta PowerPoint-työohjeistuksen vaihe vaiheelta. Molemmat uudet henkilöt saivat oman työpisteen, joka sisälsi useita eri työtehtäviä. Ensimmäiseksi molemmille uusille työntekijöille näytettiin samanaikaisesti yhden työvaiheen kaikki tehtävät (työpiste 2), jonka jälkeen toinen uusi henkilö alkoi omatoimisesti kokoamaan tätä vaihetta ohjetta apuna käyttäen. Perehdyttäjä näytti havainnoitsijalle työvaiheen (työpiste 1) työtehtävät, jonka jälkeen havainnoitsija alkoi tämän jälkeen kokoamaan ohjeita seuraten. Perehdyttäjä seurasi molempien uusien henkilöiden työskentelyä vähän aikaa ja antoi pyydettäessä lisätietoa. Kun omatoiminen työskentely onnistui, siirtyi perehdyttäjä tekemään omaa työvaihettaan (työpisteet 3 ja 4) ja samalla tarkkaili samalla edellisten työvaiheiden työpöytä siltä osin kun se oli nähtävissä. Toinen kokenut työntekijä toimi linjan lopussa testaus- ja pakkaustehtävissä. Havainnoitsija kokosi ensimmäiset kolme yksikköä ohjeita seuraamalla, ja tämän jälkeen tarkisti ainoastaan vain välillä, että edelleen kaikki työvaiheet olivat muistissa. Työvuoron aikana molemmat linjalla työskentelevistä henkilöistä tekivät kahta eri työpistettä itsenäisesti perehdytyksen jälkeen.

## Kokoonpanotyössä havaitut haasteet

Työtehtävät oli helppo suorittaa oikein niihin keskittyessä, mutta häiriön alaisena työskentelyssä tapahtui helposti virheitä. Häiriöitä aiheuttivat esimerkiksi useat linjan ulkopuoliset henkilöt, jotka kävivät keskustelemassa työskentelyn lomassa. Työskentelyssä ilman ohjeiden seuraamista syntyi usein epävarmuus, oliko tehnyt kaikki vaaditut toimet, tällöin oli tarkastettava tehdyt toimenpiteet.

Käsitys siitä, kuinka systemaattisesti perehdyttäjät tarkasti ja pystyi tarkastamaan edellisten työvaiheiden työsuoritusten ei tarkentunut. Osa aikaisempien työvaiheiden kokoonpanotyöstä ei ollut enää myöhemmissä vaiheissa edes nähtävissä.

Linjalla työskennelleet kokeneet henkilöt eivät käyttäneet työskentelyssä ohjeita. Viereisellä linjalla työskenteli myös neljä kokenutta kokoonpanijaa eli operaattoria, jotka eivät myöskään lukeneet työohjeita missään vaiheessa. Vaikka työohje on työntekijän välittömässä läheisyydessä, on työntekijän aina lopetettava työnteko käyttäessään ohjetta. Ohjeita seurattaessa on myös siirryttävä hiirellä ohjeessa työvaiheesta seuraavaan.

Keskittyminen työtehtävien nopeaan ja virheettömään suoritukseen ei antanut aikaa muiden seuraamiseen siinä mittakaavassa kuin havainnoinnissa oli tarkoitus. Uuden työntekijän roolissa pystyi hyvin samastumaan tilanteeseen, kun uusi henkilö tulee linjalle ja käyttää työohjeita, samalla myös työohjeiden käyttö konkretisoitui.

Tässä vaiheessa jäi epäselväksi, kuinka kokeneet työntekijät varmistuivat, että käytettävä ohjeistus ei ollut muuttunut. Miten tiedotetaan ohjeisiin tulleista muutoksista ja miten varmistetaan, että kaikilla on viimeisin tieto? Esimerkiksi työtapa tai käytetyt komponentit saattavat muuttua.

Linjakokoonpanotyössä, jossa linja on tasapainotettu standardiaikojen avulla, työntekijöillä ei ole aikaa etsiä tietoa, vaan kaiken tarvittavan tiedon tulisi olla automaattisesti esillä. Jos ohjeistus ei ole automatisoitua, työhön nivoutuvaa ja ergonomista, ei ohjeita käytetä kuin pakosta. Havainnoinnin perusteella kokeneet työntekijät eivät käytä yksityiskohtaisia ohjeita oman työnsä suorittamiseen. Uudella työntekijällä voi olla epävarmuus, onko muistanut tehdä kaikki vaaditut toimet ja tehtävät. Kokoonpanossa on mahdollista tehdä helposti virheitä. Syitä on monenlaisia, esimerkiksi kokoonpanijan huolimattomuus, joskus väärä komponentti on eksynyt kokoonpanopisteeseen tai vikaa voi olla myös komponenttien laadussa.



## 5.10 Käyttäjälähtöinen näkökulma

Käyttäjälähtöisyydestä puhuttaessa keskiössä on käyttäjä. Käyttäjällä käsitetään tässä yhteydessä tutkittavan organisaation ohjeistuksen käyttäjää eli kokoonpanijaa. Yritysten menestyminen rakentuu entistä enemmän osaavien käyttäjien varaan. Pelkkä uuden teknologian kehittäminen ei riitä, myös kehitettyjen ohjelmistojen ja laitteistojen tulee palvella hyvin käyttäjiä.

Käyttäjälähtöisen suunnittelun keskiössä on tarkoitus pitää käyttäjänäkökulmaa esillä koko projektin ajan, tämän kaltaisella suunnittelulla pyritään tuottamaan hyödyllinen ja helppokäyttöinen tuote/palvelu. Työohjeistusta muutettaessa pyritään hyviin tuloksiin ottamalla huomioon eri intressipiirit ja heidän näkökannat. Käyttäjakeskeisessä suunnittelussa kartoitetaan ensin käyttäjäjoukko. On tarpeen selvittää käyttäjätarpeita, sekä luoda, priorisoida, arvioida ja testata näihin perustuvia oletuksia ja suunnitteluratkaisuja yhdessä käyttäjien kanssa koko prosessin aikana erilaisin menetelmin. Käyttäjälähtöisessä suunnittelussa hyödynnetyt työkalut ovat muun muassa käyttäjien haastattelut, havainnointi ja profilointi. Käyttäjän ymmärtämisen lisäksi on myös huomioitava, että heidän työnsä, arkiset askareensa ja tehtävänsä ovat täynnä tärkeitä yksityiskohtia. Tarkoituksena on tehdä yhteissuunnittelua yhdessä käyttäjien kanssa. Tarkoituksena on lähestyä valmista suunnitelmaa yhdistämällä ohjeistus, käyttöliittymä ja laitteen käytössä oleva tekniikka ja käyttäjän vaatimukset. Suunnittelussa on tutkittava kokoonpanon työympäristöä, sen mahdollisuuksia ja puutteita, jotka asettavat suunniteltavalle järjestelmälle tiettyjä rajoja.

Käytettävyys on järjestelmän laatutekijä käyttäjän näkökulmasta käsin. Tuotteen käytettävyys määrittelee, ratkaiseeko tuote käyttäjän näkökulmasta oikeat ongelmat (eli tuotteessa on käyttäjän tarvitsemat ominaisuudet) ja ratkaiseeko tuote ongelmat oikealla tavalla (eli tuotetta on helppo käyttää). Käytettävyyden suunnittelussa on opeteltava tuntemaan käyttäjät ja heidän toiveensa ja tarpeensa, jotta käyttäjänäkökulma pystytään huomioimaan suunniteltavassa tuotteessa.

Parhaan taloudellisen hyödyn saamiseksi on uuden ohjeistuksen ja järjestelmien suunnittelussa huomioitava, kuinka nämä soveltuisivat käytettäväksi myös muissa, yrityksen eri maissa toimivissa toimipisteissä. Vaikka toimintaympäristö ja työnkuva pääpiirteiltään vastaavatkin nyt kehityksen alla olevaa ympäristöä ja työnkuva olisikin sama, tehtävät suoritetaan paikassa, jossa vaikuttaa erilainen kulttuuri. Sillä on omat odotukset, tavat ja arvot. Nämä muuttujat on huomioitava myös suunnittelussa, koska ne ovat suuri tekijä ihmisen tapaan toimia ja tehdä työtä.

## 6 LISÄTYN TODELLISUUDEN SUUNNITELMA

Lisätyn todellisuuden hyödyntämisessä tehdään yhteistyötä VTT:n kanssa, jolla on hyvin laaja-alainen osaaminen ja huipputason osaaminen kyseisestä teknologiasta. VTT:llä on myös mahdollisuus tarjota yksilölliset ratkaisut erilaisiin tarpeisiin.

Lisätyn todellisuuden suunnitelma toteutetaan pilottikokeilulla, jos hankkeelle saadaan rahoitus. Pilotointi tarkoittaa kokeilua, testiä ja harjoitusta. Pilotointi toimii testinä ohjelmistolle/järjestelmälle, sen avulla on mahdollista saada palautetta jatkokehitystarpeista ja selvittää tarkemmin resurssitarpeet. Pilotti kohdistuu pieneen osaan yrityksen työohjeistusta ja pilotin jälkeen uusi tapa voidaan ottaa laajamittaisesti käyttöön. Lisäksi pilotointi antaa erinomaisen mahdollisuuden mitata kohde-ryhmän reaktio uuteen järjestelmään. Pilotissa voidaan kokeilla ja kehittää rajatulla riskillä, ja se on hyvä mahdollisuus oppia uutta.

Pilotointi suoritetaan Nokia Networksissä, Oulun tehtaassa tiloissa kokeilua varten rakennetulla ”pilottilinjalalla”. Ohjelmistotukea testeihin antaa VTT. Nokian organisaation sisältä hyödynnetään eri osajoukkojen asiantuntijoita tarpeen mukaan. Pilotti voidaan käynnistää kahden viikon kuluessa lisätyn todellisuuden järjestelmän tilaamisesta. Järjestelmä on pilotoitavissa kahden–kolmen kuukauden kuluessa pilotin aloituksesta. Pilotin kokonaiskestoksi on arvioitu kuusi kuukautta. Rahoituspäätöksestä riippuen pilotti voidaan mahdollisesti toteuttaa syksyn 2016 aikana.

Testiympäristö rakennetaan mahdollisimman lähelle tuotantoa, jotta tarvittavat resurssit ovat nopeasti saatavissa ja käytettävissä. Sijainti on kuitenkin erillään tuotannosta, eikä vaikuta tai häiritse päivittäistä tuotannon toimintaa. Pilotointiympäristön luominen ei vaadi kohtuuttomasti tilaa. Pilotointi suoritetaan ennalta valitulla tekniikalla. Testien esteetön suorittaminen ja laitteistojen vahingoittumattomuus on hyvä huomioida tilajärjestelyissä. Testissä tarvittavat tuotteet/yksiköt on tarkoitus lainata tuotannosta. Käyttämällä oikeita tuotteita pilotoinnista saadaan todenmukainen.

### 6.1 Pilotin tavoitteet

Nokian kanssa käytyjen keskustelujen pohjalta VTT on tarjonnut vuoden 2016 alkupuolella lisätyn todellisuuden ratkaisun tukiasematehtaan kokoonpanotehtävien työohjeistukseen.

Pilotissa VTT toteuttaisi lisätyn todellisuuden järjestelmän, jolla **tunnistetaan** ja **seurataan** kokoonpantavaa yksikköä sekä **näytetään** näkymässä kokoonpano-ohjeet. Järjestelmää on tarkoitus kehittää ja kokeilla pilotinomaisena kokeiluna Nokian tiloissa. Ideana on asteittainen ohjeiden digitalisoiminen ja siirtyminen lisätyn todellisuuden hyötykäyttöön tukiasemien kokoonpanotuotannossa. Tavoitteena on hyödyntää nykyistä ohjeistusta mahdollisimman paljon. Mahdollisista tiedottamisista ja pilottitulosten julkaisemisesta sovitaan erikseen projektin johtoryhmässä.

## 6.2 Käytettävät laitteistot

Pilotissa käytetään erillisiä kosketusnäyttöllisiä taulutietokoneita ja verkkokameroita (digitaalikamera, jota tyypillisesti käytetään lähettämään videokuvaa Internet-verkon välityksellä). VTT tekee pilotissa tarvittavat laitteistoselvitykset, eli selvittää mitä tabletteja ja kameroita pilotissa on järkevä käyttää sekä myös näiden asennukseen tarvittavien jalustojen yms. tarvikkeiden hankinnan. Selvityksen tuloksena Nokia saa laitteistomäärittelyt, joiden perusteella voi tehdä tarvittavat pilotin tarpeet täyttävät laitehankinnat.

Tällä hetkellä käyttökokemus on parempi erillistä näyttöä käytettäessä verrattuna datalaseihin. Erillinen näyttö/tabletti tarjoaa ehkä vielä tällä hetkellä käyttäjäystävällisemmän tavan tarjota työohjeistus työntekijöille. Nykyisissä datalaseissa ongelmana on paino, akut ja sopivuus eri käyttäjille (esimerkiksi silmälasien kanssa saattaa tulla haasteita). Datalasien kehitys on tällä hetkellä nopeaa. Järjestelmä voidaan päivittää datalaseilla käytettäväksi, kun lähivuosina datalasien kustannus/laatu-suhde ja käytettävyys paranevat merkittävästi. Suurin osa toiminnasta ja itse ohjeet voivat olla samoja, mutta joitakin teknisiä ratkaisuja pitää päivittää. Esimerkiksi erillistä kameraa ja näyttöä ei enää tarvita (mm. liikkuvan kameran tarkka ja luotettava seuranta pitää päivittää). Pilotissa/alkuvaiheessa on mahdollista hyödyntää linjaston nykyisiä PC-laitteita. Hyötynä tässä olisi helppo ja edullinen valmis ratkaisu. Pitkälle ajateltuna lisätyn todellisuuden toteutuksella haetaan kuitenkin ohjeiden käyttäjälähtöisyyttä ja siihen tämä vaihtoehto ei ole paras ratkaisu. PC-näyttöjen paikka on huono (näyttö on operaattorin sivulla) ja ei ole liikuteltavissa. Pilotointi voidaan kuitenkin suorittaa nykyisillä näytöillä. Tabletti vaihtoehdolla näyttö olisi mahdollista saada lähemmäksi käyttäjää sekä ohjeistus paremmin käyttäjän näkökenttään. Tablettia ei ole sidottu mihinkään valmistajaan, käytännössä pitäisi riittää halvemman tason Android- tai Windows-laite, myös iOS sopii. Tabletti vaihtoehdon kustannusarvio on noin 800–1000€/työpiste (kameran kustannus mukana tabletin kustannusarviossa).

Kamera(t) voidaan asentaa kokoonpanolinjalla kokoonpanopöydän yläpuolelle. Kamera sijoitettaisiin sille työpisteen kohdalle, jossa kokoonpanotyö tapahtuu ja pöytä on paikallaan, tällöin tuote näkyy näytöllä. Mahdollisesti yksi kamera yhdessä työpisteessä riittää. Tabletissa olevaa kameraa voidaan käyttää tabletin sijainnista riippuen.

Asennettaessa tabletti ja kamera kokoonpanopöytään, ohjeistus olisi ergonomisesti parhaimmalla paikalla, kulkisi helposti mukana ja helpottaisi siirtymistä seuraavaan työvaiheeseen. Pöytiin asennus vaatii kuitenkin erilliset jalustat ja kiinnitykset. Lisäksi pöydän kansiosan liikuteltavuus ei olisi tässä vaihtoehdossa enää niin hyvin käytettävissä, ja laitteistojen määrä kasvaa, jos jokaiselle pöydälle asennettaisiin oma tabletti ja kamera. Lisätyn todellisuuden lasit poistavat nämä ongelmat, joten tältä kantilta on odotettava lasien käyttöönottoa.

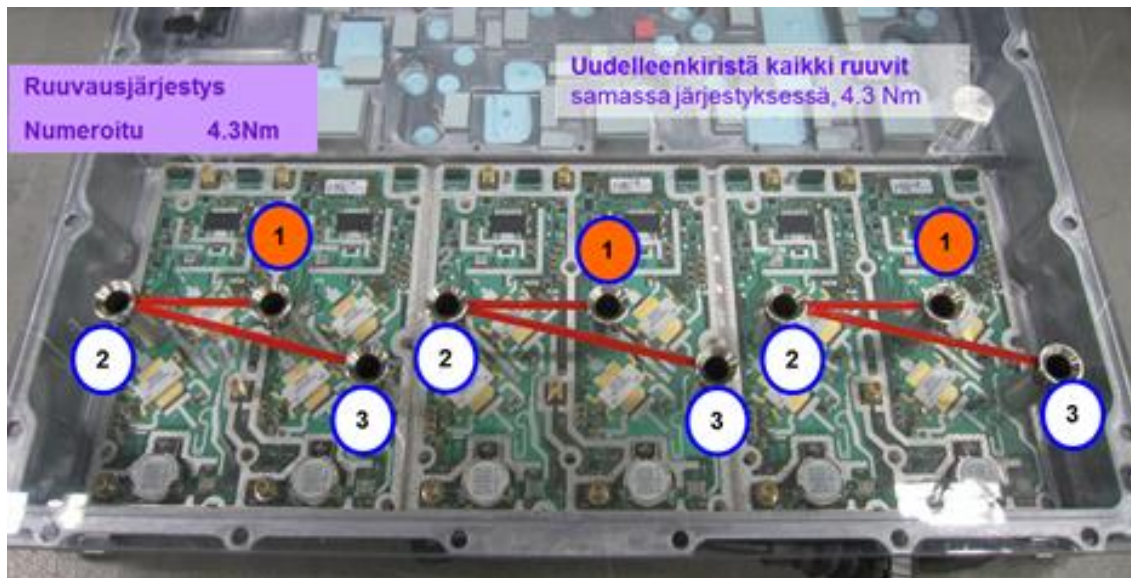
### **6.3 Ohjeistustyökalu**

VTT toteuttaa työkalun (authoring tool), jolla piirretyt augmentoinnit eli lisätyt ohjeet voidaan liittää oikeaan kohtaan 3D-näkymässä. Lisäksi VTT spesifioi ohjeet/tavan, jolla augmentointiohjeet tuotetaan ja liitetään osaksi lisätyn todellisuuden järjestelmää. Mallien/ohjeiden tuottaminen perustuu kolmansien osapuolien ohjelmistojen käyttöön, esimerkiksi kuvankäsittelyohjelma (3D-mallinnusohjelma). Tämän tuloksena saadaan Authoring-työkalun tuottamat tiedostot, joiden avulla ohjelmisto osaa näyttää oikeat ohjeet oikeassa paikassa. Lisäksi tehdään Authoring tool -työkalu, Authoring tool -käyttöohjeet ja ohjeet augmentointiohjeiden tuottamiseksi. Työkalu ja ohjeistus pyritään tekemään heti pilotin alussa, jotta päästään nopeasti luomaan ohjeita.

Kuviossa (kuvio 24) on esitetty miltä augmentoidut ohjeet voisivat näyttää. Augmentointiohjeet voivat olla 2D-kuvia, niiden ei tarvitse välttämättä olla 3D-malleja. Nokia toteuttaisi augmentoitavat kuvat ja ohjeet ohjeistuksen mukaan sovitussa formaatissa. Tulevaisuudessa voidaan siirtyä aitoihin 3D-malleihin ohjeissa, mikäli niin halutaan (suurimmasta osasta komponentteja on jo olemassa valmiit 3D-kuvat).

Lopputulokset näyttäisi suunnilleen samalta kuin nykyisessä ohjekuvassa, sillä erotuksella, että käyttäjä näkee videokuvana kokoonpanossa olevan tuotteen sekä ohjeet piirrettynä suoraan kamerassa näkyvän tuotteen päälle. Koska kyseessä on videokuva, käyttäjä näkee suoraan myös omat

kätensä ja esimerkiksi ruuvimeisselin asennuksen aikana, näin hänen on helppo varmistaa, että hän seuraa ohjeistusta tarkasti.



KUVIO 24. Augmentoidut ohjeet (Nokia, Networks Oy 2015, 35; VTT 2016)

#### 6.4 Ohjelmistot ja kirjastot

VTT toteuttaa ja kehittää lisätyn todellisuuden ohjelmiston, jolla tunnistetaan ja seurataan koottavana olevaa tuotetta. Ensisijaisesti pyritään käyttämään kohteentunnistuksessa ja -seurannassa piirteentunnistukseen perustuvaa menetelmää. Mikäli käytännön olosuhteet linjalla vaativat, voidaan tunnistuksen apuna käyttää myös markkeripohjaista menetelmää, mutta ensisijaisesti pyritään tunnistamaan kohteet sellaisenaan. Ohjelmisto tunnistaa kohteen ja näyttää kyseiseen työvaiheeseen liitetyt ohjeet. Osa ohjeista voidaan avata erilliseen kuvaan, esimerkiksi jos halutaan näyttää joitakin nykyisiä ohjekuvia. Ohjelmisto lukee augmentointiohjeet tiedostosta sovitussa formaatissa. Samoin ohjelmisto lukee Authoring-työkalulla luodut tiedot ohjeiden asemoinnista (ALVAR tracking). Tässä työssä toteutetut sovellukset pohjautuvat VTT:n ALVAR-kirjastoon.

Piirilevyjen ja niihin ladottujen komponenttien korkeus on luultavasti luettavissa kuvasta, mutta filter/yksikön rungon syvyysvaihtelut saattavat tarvita useita kuvia eri suunnista. Tarvittaessa voidaan tunnistuksen apuna miettiä markkereiden asentamista kokoonpanopöytien kulmiin, joilla tuotteen kokoaminen ja kuljettaminen suoritetaan.

Ohjelmistoa ja laitteistoa kehitetään ja testataan iteratiivisesti sen todellisessa ympäristössä. Tuloksena on muutostarpeiden ja kehityskohteiden identifiointi lisätyn todellisuuden järjestelmäkehitykseen. Nokia osallistuu tähän sekä testaamalla välituloksia että auttamalla VTT:tä testauksessa. Nokia myös ottaa tarvittavat kuvat ja videot, joita tarvitaan kehitystyössä ja testauksessa. Nokian vastuulla on varsinainen suunnittelu ja toteutus. Pilotissa voidaan myös verrata esimerkiksi erilaisia augmentointeja ja käyttäjäkokemusta.

Pilotin alussa on mietittävä pilottiin soveltuva tuote ja työvaihe. Valittavan tuotteen olisi hyvä olla sellainen, jota tuotannossa on tarkoitus tehdä pidemmän aikaa sekä määrällisesti kohtuullisen paljon. Tällöin pilotissa tuotteelle tehdyt lisätyn todellisuuden ohjeet ovat pilotin jälkeen hyödynnettävissä suoraan linjalla. Lisäksi samat työohjeet voivat olla käytössä useilla eri tuotevariaatioilla, jolloin lisätyn todellisuuden ohjeistus on myöhemmin hyödynnettävissä suoraan useille eri tuotteille. Työvaiheen valinnassa olisi hyvä huomioida, että työvaihe sisältää useita erilaisia tehtäviä, jotta voidaan kokeilla lisätyn todellisuuden ohjeistuksen toimivuutta monipuolisesti. Jos lisäksi halutaan tutkia ja analysoida kuinka paljon lisätyn todellisuuden avulla saadaan esimerkiksi vähennettyä vikoja, pitää valita työvaihe/tehtävä, jossa on yleensä havaittu vikoja tulevan.

## 6.5 Ohjeet

Pilotin aikana on hyödyllistä testata miten lisätyn todellisuuden ohjeistuksesta generoidaan PowerPoint-ohjeet. Tämä on tärkeää, jos myöhemmin halutaan, että ylläpidettäviä ohjeita ei ole jatkossa kaksia eri ohjeita (PowerPoint- ja lisätyn todellisuuden ohjeet). Riippuen käytettävästä ohjelmistosta lisätyn todellisuuden työohjeiden tekemiseen käytettävä aika saattaa olla vähemmän kuin PowerPoint-ohjeiden tekemiseen käytettävä aika. Ohjeiden luomiseen käytettävä aika riippuu aina siitä, kuinka paljon ohjeissa on tarpeen käyttää animointeja. Animaatioiden määrä kasvaa, jos esimerkiksi teksteistä halutaan kokonaan eroon. Lisätyn todellisuuden ohjeiden luominen voi olla jopa tehokkaampaa kuin PowerPoint-ohjeiden tekeminen, jos lisätyn todellisuuden työkalu on suunniteltu työohjeiden tekemistä varten ja käytössä on lukitut, rajatut ja valmiit symbolit.

Työohjeiden aukaiseminen eri tuotteille tapahtuu valitsemalla oikea ohje joko näytön pikavalintakuvakkeesta tai tiedostorakenteesta. Ensivaiheessa ohjeissa seuraavaan työtehtävän ohjeistuk-

seen siirtyminen tapahtuu edelleen käyttäjän toimesta, esimerkiksi kosketusnäytössä olevien painikkeiden avulla, joten laite on oltava lähietäisyydellä. Nykyisiä ohjesivuja voidaan edelleen käyttää lisätyn todellisuuden rinnalla.

## **6.6 Järjestelmän laajennettavuus**

Laajennettaessa lisätyn todellisuuden järjestelmä muihin työpisteisiin tarvitaan kiinteä kamera sekä näyttö/tabletti jokaiseen työpisteeseen mahdollisine jalustoineen ja kiinnitystarvikkeineen. Vaihtoehtoisesti voidaan myös miettiä älylasien käyttöä. Lisätyötä aiheuttaa työpisteiden ohjeiden toteuttaminen ja tarvittaessa ohjeistuksen asentaminen käytettävissä olevalle laitteistolle. Mitään merkittävää sovelluskehitystä ei välttämättä tarvita. Aluksi osan ohjeista voi esittää nykyisenä Power-Point-ohjeena, ja uusia lisätyn todellisuuden ohjeistuksia voidaan lisätä työpiste kerrallaan. Kehitystyössä keskityttäisiin nimenomaan laajennettavuuteen ja siihen, että muutoksia voidaan tehdä vähitellen (esimerkiksi siirtyminen 3D-malleihin). Lisätyn todellisuuden järjestelmän formaatti on toimivuudeltaan siirrettävissä eri Nokian-tehtaille. Oulussa on tarkoitus luoda järjestelmälle pohja, jonka päälle voidaan rakentaa.

ALVAR-ohjelman käytöstä ei peritä erillistä lisenssimaksua, jos pilotissa kehitettävää ohjelmistoa käytetään alkuperäisessä käyttötarkoituksessa ja laajuudessa. Pilotin jälkeen ALVAR:n käyttöön tarvitaan kuitenkin lisenssisopimus. Lisenssimaksun suuruus riippuu ohjelman käyttölaajuudesta. Jos pilotin jälkeen järjestelmää kehitetään, laajennetaan, käyttötarkoitusta muutetaan tai järjestelmä halutaan laajemmin käyttöön, täytyy ALVAR:n lisensseistä ja käyttömaksuista neuvotella erikseen. Toimiessaan lisätyn todellisuuden järjestelmä voidaan ottaa käyttöön myös muilla tuotteilla, linjoilla, soveltaa eri käyttökohteisiin sekä Oulussa että suurivolyymisilla Nokian muilla tehtailla.

## **6.7 Pilotin tuotokset**

Pilotin tuloksena syntyy pilotoitava lisätyn todellisuuden kokoonpano-opastusjärjestelmä sekä Authoring-työkalu, jolla ohjeet voidaan liittää oikeisiin työvaiheisiin ja oikeaan kohtaan näkyvässä. Lisätyn todellisuuden toiminnallisuuden toteutuksessa käytetään VTT:n ALVAR-kirjastoa. ALVAR:sta Nokia saa käyttöoikeiden ja binaarikirjaston, jota pilotissa kehitetään pilottijärjestelmän osana. Pilotissa keskitytään tekniseen toteutukseen ja toteutetaan yksinkertainen käyttöliittymä.

Pilotissa tuotetaan seuraavat dokumentaatiot:

- Ohje augmentoitavien ohjeiden tuottamiseksi
- Authoring-työkalun käyttöohje
- Kuvaus lisätyn todellisuuden ohjelman toiminnasta yleisellä tasolla
- Lisätyn todellisuuden ohjelman käyttöohje

Jos erillislinjalle rakennettu lisätyn todellisuuden pilottiratkaisu toimii, on järjestelmää hyvä testata käytännössä myös todellisessa käyttöympäristössä eli kokoonpanolinjalla, esimerkiksi yhdessä työpisteessä. Tätä kautta on mahdollista saada kerättyä käyttäjien kokemuksia (kyselyt/haastattelut). Koska pilotoinnin avulla pyritään kehittämään lisätyn todellisuuden järjestelmä juuri tähän käyttötarkoitukseen, ovat ohjeistuksen pääasiallisten käyttäjien eli linjalla toimivien kokoonpanijoiden mielipiteet ja käyttökokemukset tärkeitä. Myöhemmin, jos järjestelmä otetaan laajemmin käyttöön, on muutosten hyväksyminen (muutosvastarinta) ja toteuttaminen helpompaa kun järjestelmä on toimivaksi havaittu.

Oikeassa käyttökohteessa pilotoitaessa saadaan myös kerättyä oikeaa tietoa ja voidaan analysoida saadaanko linjan kokoonpanotyötä nopeutettua ja työn laatua parannettua. Pilotista saatavien tuloksien pohjalta valitaan sopiva tekniikka ja tehdään tarkempi arvio investoinnin kannattavuudesta. Kannattavuusselvitykseen pohjautuen tullaan harkitsemaan lisätyn todellisuuden käyttöönoton edellytyksiä laajemmin linjalla. Esitys perustuu kokonaiskuvaan lisätyn todellisuuden ominaisuuksista, syntyvistä kustannuksista, saaduista testituloksista sekä hyötyjen ja haittojen analysoinnista. Pilotin lopputuloksena tehdään esitys, kannattaako lisätyn todellisuuden tekniikan käyttöönotto tehtaan filttter- ja yksikkökokoonpanon työohjeistuksessa.

Pilotoinnissa on myös mahdollista huomata uusia kehityskohteita, jotka auttavat kehittämään prosessia kokonaisuudessaan.



## 7 TULOKSET

Työssä on teoriapuolella perehdytty lisätyn todellisuuteen, teknologioihin, laitteistoihin ja lisätyn todellisuuden käyttämiseen kokoonpanossa. Koska työhjeet itsessään kuuluvat tärkeänä osana työhjeistukseen on näistä pyritty käymään läpi oleellimmat asiat. Työn yhtenä alueena oli kar- toittaa laajasti alue, johon lisättyä todellisuutta suunnitellaan ja pyrkiä ottamaan huomioon kaikki pääseikat, joiden huomioon ottaminen on teoreettisesti perusteltua, että toimiva järjestelmä saa- daan käyttöön. Lisätyn todellisuuden hyviä ja huonoja puolia on käyty läpi kokoonpanon kannalta ajateltuna. Työssä on myös tutustuttu useisiin lisätyn todellisuuden tutkimuksiin.

Työssä selvitettiin, kuinka lisätyn todellisuuden järjestelmä voitaisiin tällä hetkellä kokoonpanolin- joilla toteuttaa. Lisätyn todellisuuden pilotti toteutettaisiin yhteistyössä VTT:n kanssa, jolla on pitkä kokemus lisätystä todellisuudesta, ja joka voi tarjota yksilölliset räätälöidyt ratkaisut yrityksen käyt- töön. Tässä ratkaisussa on lähtökohtana asteittainen siirtyminen nykyisestä ohjeistuksesta lisätyn todellisuuden ohjeistukseen. Pilottivaiheessa ratkaisu olisi tarkoitus toteuttaa tabletilla mutta otet- taessa järjestelmä laajemmin käyttöön sekä teknologian kehittyessä ja hintojen laskiessa alaspäin mahdollisesti siirtyä älylaseihin. Kokoonpanoon liittyvissä työtehtävissä päässä pidettävät älylasit vapauttavat työntekijän kätet kokonaan työtehtäviin ja tarjoavat suuren hyödyn tuottavuuden pa- rantumisen myötä.

Lisätyn todellisuuden käyttö soveltuu hyvin kokoonpanon työhjeistukseen, ja useissa yrityksissä onkin siirrytty lisätyn todellisuuden ohjeistukseen. Eri tutkimustulosten perusteella voidaan päätellä, että lisätystä todellisuudesta on hyötyä myös kokoonpanon työhjeistuksessa. Lisätty todellisuus mm. nopeuttaa kokoonpanotyötä, parantaa työn laatua, keskittymiskykyä, työmotivaatiota ja tuot- tavuutta eli tällä saadaan kustannussäästöjä ja parannetaan yrityksen kilpailuetua. Lisätyn todelli- suuden yksi iso etu on myös se, että sen avulla on mahdollista päästä yksin universaaleihin ohjei- siin. Tällöin säästetään resursseja siinä, ettei useissa eri maissa toimivan globaaln yhtiön ole enää tarvetta tehdä jokaiseen maahan omia paikallishjeita.

Lisätty todellisuus on monipuolinen teknologia, joka kehittyy nopeasti myös teollisuudessa. Tästä syystä on tärkeää selvittää sen mahdollisuudet auttaa yritystä kilpailun kiristyessä markkinoilla. Tarvittava teknologia ja data ovat jo olemassa lisätyn todellisuuden tuomiseksi teolliseen ympäris- töön. Käyttömahdollisuudet ovat lähes rajattomat. Uuden teknologian avulla on mahdollisuus

saada kustannussäästöjä. Tuotannon työohjeistuksessa tästä saatavia hyötyjä ja parannusta oletetaan saatavan lähinnä kokoonpanotyön tehostumisella ja laadun paranemisella. Tuotannon optimointi ja tehokas työvaiheiden suunnittelu ovat lähtökohtia, joiden vuoksi edellä mainittuihin asioihin panostetaan paljon. Lisäksi teknologiaa voidaan käyttää tulevaisuudessa monessa eri yrityksen kohteissa hyödyksi.

Ohjeistuksen uudistaminen kokonaan uudenlaiseksi vaatii hyvän suunnitelman ja aiheen perinpohjaisen selvittämisen. Teknologian kehitys on entistä nopeampaa. Yrityksen pitää pyrkiä kartoittamaan jo hyvissä ajoin tulevaisuuden mahdollisuudet, tällä tavoin voidaan hyvissä ajoin ottaa huomioon muutoksien aiheuttamat järjestelyt kaikessa toiminnassa. Prosessi pitää analysoida jo ennen muutosta, mitkä olisivat sen vaikutukset kaikkiin siihen liittyviin henkilöihin ja osastoihin, esimerkiksi työohjeiden tekijät ja käytettävät järjestelmät. Käyttäjien taso ja kokemus on huomioitava. Eriolaiset alueeseen kuuluvat mittarit: tuottavuus, virheet, viihtyvyys pitää selvittää. Käyttäjät mukaan ottamalla saadaan vastarintaa muutokseen vähennettyä. Eri organisaatiotasolta, osastojen asiantuntijoilta ja tuotannossa työskenteleviltä on mahdollista saada hyviä ideoita kehityshankkeissa, sekä sitouttaa heidät mukaan toimintaan (vaikutusmahdollisuudet). Laatupiirien ja muiden laatujohtamisen työkalujen avulla pyritään työntekijöiden osallistumiseen. Työntekijät ovat usein työnsä parhaita asiantuntijoita, ja heiltä saadaan parhaat ideat toiminnan kehittämistä varten. Toimissaan ohjeistus voidaan ajatella otettavan käyttöön myös muissakin tuotannon prosessivaiheissa, joissa nähdään, että siitä olisi hyötyä. Tämä on otettava myös huomioon uutta prosessia luotaessa. Prosessin muuttamiseen tähtäävässä projektissa on oltava mukana henkilöitä kaikista projektia koskevista ryhmistä mm. operaattorit, opastajat, alueen työnjohto, laatuhenkilöt, työohjeiden laatijat, muutostiedotteiden laatijat. Johdon merkitys on suuri ja sen oltava sitoutunut projektiin, jotta saadaan tarvittavat resurssit (aika ja raha) käyttöön. Lisäksi on selvitettävä miten lisätyn todellisuuden ohjeiden muutokset, päivitettävyys yms. tapahtuvat.

Saavutetut tulokset vastaavat työssä asetettuihin tavoitteisiin ja tuovat lisätietoa lisätyn todellisuuden hyödynnettävyydestä työohjeistuksessa sekä lisätyn todellisuuden ratkaisun kokoonpanon työohjeistuksen tehokkaampaan käyttöön.

## 7.1 Lisätyn todellisuuden investoinnin kannattavuudesta

Tässä on esitetty pelkistetty periaate kannattavuuden laskemisesta, jos lisätyn todellisuuden järjestelmä otettaisiin linjalla käyttöön. Kyseessä on yksi volyymituote ja yksi kokoonpanolinja, tämä siitä syystä, että sama tuotekohtainen työohje on käytössä aina yhdellä kokoonpanolinjalla.

Alkukustannukset eli pilottikustannukset huomioidaan laskelmassa. Suurin investointi on jo pilottivaiheessa hankittava lisätyn todellisuuden ohjelmisto ja työkalut kokonaisuudessaan. Tämän lisäksi investointeja aiheuttavat jokaisen työpisteen laitteistohankinnat. Pilottisuunnitelma on ajateltu tehtävän tabletti ja kamera-vaihtoehdolla, joten nämä ovat mukana laskelmassa. Toimivan älylasivaihtoehdon voidaan ajatella lisäävän työpisteen laitteistohankintakustannuksia arviolta noin 30 %. Laskelmassa ei huomioitu lisätyn todellisuuden työohjeiden tekemiseen menevää aikaa, koska työohjeet tehdään joka tapauksissa uusille tuotteille.

Oletetaan, että kyseisellä kokoonpanolinjalla olisi kymmenen eri työpistettä ja keskimäärin kaksi henkilöä käyttäisi lisätyn todellisuuden järjestelmää. Järjestelmää käyttäisivät henkilöt, jotka eivät osaa kokoonpanoa tai kun kokonaan uutta tuotetta aletaan valmistamaan kokoonpanossa.

Laskelmat perustuvat aikaisemmin linjalla kokoonpanossa olleen volyymituotteen tuotantomääriin, yksikön kokoonpanoon käytettyyn aikaan, kokoonpanossa tapahtuneiden virheiden määriin sekä virheellisten tuotteiden korjaamiseen käytettyyn aikaan (arvio) sekä tuotehävikkiin. Tarkempaa laskelmaa ei ole esitetty.

Kokoonpanossa arvioidaan saatavan aikasäästöä 25 % sekä korjauskulujen vähenevän 60 %. Prosentit on arvioitu aikaisempien lisätyn todellisuuden tutkimuksien sekä linjan tämän hetkisen työohjeistuksen tilan ja kypsyyden perusteella. Laskelmassa huomioidaan säästöt: kokoonpanoajan nopeutuminen, opetussäästöt, korjauskustannukset, hävikkikustannukset sekä arvioitu muut säästöt, joita ovat esimerkiksi tuotteiden yliprosessointi, kuljetukset, säilytykset, odotukset, toimituksissa myöhästymiset ja kaikki tuotteiden ylimääräiset kirjaamiset eri tuotejärjestelmiin.

Investointi lisätyn todellisuuden järjestelmään voisi maksaa käyttöönoton jälkeen itsensä takaisin jo alle vuodessa. Lisätyn todellisuuden järjestelmän laajentaminen useille kokoonpanolinjoille lisää ainoastaan laitteistoinvestointeja. Samoilla kokoonpanolinjoilla tehdään useita tuotteita.

## 7.2 Jatkokehitys

Lisätyn todellisuuden pilottiin voidaan erillisenä kokonaisuutena liittää konenäön käyttäminen. Tämän avulla tunnistetaan, onko tarkastelun alla oleva työvaihe suoritettu. Esimerkiksi, onko tietty ruuvi paikallaan, tai onko väärään paikkaan laitettu ruuvi. Tähän ei maailmalla ole toistaiseksi esitetty täysin toimivaa ratkaisua, mutta tältä osin voidaan olettaa saatavan alustavia tuloksia. Konenäön käyttämisessä hyödynnettäisiin tavallisten kameroiden lisäksi syvyyskameroita, jolloin konenäön käyttäminen voitaisiin rajata esimerkiksi vain määrättyyn työpisteeseen. Konenäkö tutkimus osio pitää suunnitella ja hinnoitella erikseen.

Seuraavassa on listattu muita jatkokehitysmahdollisuuksia:

- Pilotissa ei tehdä varsinaista käyttöliittymäsuunnittelua. Pilotista saadun palautteen ja kokemuksen perusteella käyttöliittymää voidaan parantaa mahdollisessa jatkoprojektissa.
- Tuotetunnistus. Eli eri tuotteet tunnistetaan automaattisesti tuotteen muodon perusteella. Mahdollisesti vaaditaan 3D-tracking eli seuranta, myös valaistus ja kontrasti vaikuttavat toimivuuteen.
  - o Tuotetunnistuksen avulla voidaan ladata oikeat ohjeet automaattisesti.
  - o Tuotetunnistuksen avulla voidaan mitata tuotteen tahtiainaa (takt-time).
- Työvaiheen tunnistus. Tunnistaa, onko työvaihe suoritettu ja näyttää automaattisesti seuraavaksi suoritettavan työvaiheen.
- Ohjesivujen vaihtoon voidaan myös miettiä erilaisia ratkaisuja (puoliautomaattikka)
- Ohjeissa käytettävän esitystavan eri muodot, erilaiset animaatiot ja tehokeinot.
- Datalasien kokeilukäyttö
- Valmiiden 3D-kuvien hyödyntäminen, animaatiot
- Laadunvalvonta kameralla
- Viivakoodin lukeminen. Luetaan tuotteiden viivakoodit automaattisesti.

Jatkossa voidaan käyttää sekä määrällistä että laadullista materiaalia hyväksi. Määrällistä materiaalia ovat esimerkiksi erilaiset tuotteiden laatu-, vikatieto- ja kokoonpanon virheraportit. Raportit auttavat luomaan paremman kuvan missä lisätyn todellisuuden hyödyt esimerkiksi laaduntarkastuksessa voisivat toimia parhaiten. Valmiita raportteja löytyy talosta. Tarkastelemalla filtter- ja yksikkökokoonpanon alueella tehtyjä kokoonpanovirheitä pidemmällä ajanjaksolla, voidaan miettiä

oikeita parannuskohteita. Laadullista materiaalia saadaan käyttäjien haastatteluilla ja havainnoinnin avulla.

Isommassa mittakaavassa olisi tärkeää selvittää ongelmien taso, laajuus ja kustannustaso sekä määrittää niiden tärkeysjärjestys, missä lisättyä todellisuutta ensisijaisesti kannattaisi toteuttaa. Analysoitavan tiedon perusteella voitaisiin keskittyä suurimpien ongelmien poistamiseen. Perussyiden hakeminen ja eliminoiminen on poistanut monta harmillista ongelmaa ja lisäkustannuksien aiheuttajaa. Laaduttomuus näkyy valmistuksessa, mutta usein poikkeaman lähteet ovat muualla. On kiinnitettävä huomiota tuotteen ja ohjeistusjärjestelmien kehittämiseen poikkeamien lähteiden eliminoimiseksi. Vaativimpien tekniikoiden käyttäminen edellyttää järjestelmällisyyttä sekä niiden taustalla olevien periaatteiden ymmärtämistä.

### **7.3 Muut käyttökohteet**

Tarvittava teknologia ja data ovat jo olemassa lisätyn todellisuuden tuomiseksi teolliseen ympäristöön. Käyttömahdollisuudet ovat lähes rajattomat. Mahdollisia muita käyttökohteita havaitaan varmasti lisää, kun käytettävä teknologia ja menetelmät tulevat käytössä tutuksi. Seuraavassa on kerrottu muutama mahdollinen käyttökohde yrityksessä, missä lisättyä todellisuutta voitaisiin esimerkiksi hyödyntää.

#### **SMT-alueen tuotteiden visuaalinen tarkastuspaikka**

Lisättyä todellisuutta on mahdollista hyödyntää SMT (Surface Mount Technology) -alueiden eli koteladontalinjojen tarkastuspaikoilla. Tarkastuspaikalla operaattori tarkastaa tuotteen visuaalisesti (komponenttien asemoinnit, suunnat yms.) ennen tuotteen menemistä reflow-uuniin, jossa komponentit juottuvat paikoilleen. Lisätyn todellisuuden avulla voitaisiin tunnistaa tarkastuspaikalle pyssähtyvä levy. Useiden levyjen ulkomitat ja muodot vaihtelevat, sekä osa tuotteista ladotaan uudelleenkäytettävien alustojen (palettien, plate) päälle. Tunnistuksen jälkeen ohjelma aukaisee oikean tuotekohtaisen kuvan erilliselle PC-näytölle. Näytössä kerrotaan kyseessä oleva tuotteen nimi sekä tuotteelle suoritettavat mahdolliset työvaiheet. Esimerkiksi näytetään levyltä kohdat, jotka pitää erityisesti huolella tarkistaa, mahdollisesti käsin aseteltavien komponenttien paikat, tehtävät toimenpiteet esimerkiksi ruuvaukset yms. Tarkastuspaikalla on tällä hetkellä jo kamera tuotteen suurenusta varten, mutta luultavasti lisätyn todellisuuden järjestelmä tarvitsee oman kameran ja näytön,

jossa näytetään tuotteen ohjeistus. Useilla tarkastuspisteillä on jo erillinen näyttö. Joillakin tuotteilla käytössä oleville alustoille olisi mahdollista asentaa markkerit. Useat on mahdollista tunnistaa levyn ulkomuodon mukaan, selvitettävissä on kuitenkin, onko tarpeen tehdä eroa eri varianttien välille.

## **OGI-tarkastus**

OGI (Outgoing Goods Inspection) on tuotteen (yksikön) visuaalinen eli silmämääräinen tarkastus ennen asiakkaalle toimitusta. Lisätty todellisuus voisi esimerkiksi auttaa näyttämään tarkastettavat paikat, tarkastamaan ovatko oikeat osat paikoillaan ja mahdolliset vauriot. Tarkastuksen voisi suorittaa tabletin tai älylasien avulla kiertäen tarkastettavan kohteen, järjestelmä ilmoittaisi poikkeaman havaitessaan.

## **Suunnittelukatselmoinnit**

Lisättyä todellisuutta voidaan hyödyntää uuden tuoteprojektin suunnittelussa ja toteuttamisessa, toteuttamalla tämä ensin kokonaan virtuaalisena. Tuotteet voidaan mallintaa ja testata ennakoita. Kun virheet havaitaan jo projektin alussa, saavutetaan kustannussäästöjä. Eri organisaatioiden yhteistoimintaa voidaan parantaa visualisoimalla asioita. Suunnittelun lisäksi lisätyn todellisuuden teknologiaa voidaan hyödyntää myös muissa tuotteen elinkaaren vaiheissa.

## **Huolto**

Lisätty todellisuus soveltuu hyvin kunnossapito- ja korjauspuolelle. Lisätyn todellisuuden teknologiaa voidaan hyödyntää huollon ja ylläpidon toimintaprosessien nopeuttamiseen sekä järjestelmän tai laitteen käytön kouluttamiseen, jopa etänä eri toimipisteeseen. Sitä voidaan käyttää apuna kompleksisten teollisten koneiden ja laitteiden teknisen tuoteinformaation jakamiseen käyttäjille, kuten huoltohenkilöstölle, tämä avaa aivan uusia mahdollisuuksia teollisuuden huoltotöille. Älylasien avulla paikalliset huoltomiehet voivat selviytyä entistä monimutkaisemmista huoltotehtävistä eikä apuun tarvitse enää lähettää koneen valmistajan edustajia.

## 8 POHDINTA

Lisätty todellisuus on teknologia, joka herättää voimakkaita wow-reaktioita ja kokemuksia, houkutus lähteä toteuttamaan käyttäjät ällikällä lyöviä sovelluksia sen avulla on suuri. Harkittaessa lisätyn todellisuuden tai minkä tahansa uuden teknologian käyttöä, on olennaisen tärkeää miettiä ensin tavoiteltavia tavoitteita ja sitä kautta teknologian roolia niiden saavuttamisessa: auttaako teknologia tavoitteiden saavuttamisessa? Mikä tai mitkä teknologiat toimivat parhaiten apuna? Miten ja miksi tietyt teknologiat ovat tehokkaita kyseisten tavoitteiden saavuttamisen näkökulmasta? Milloin kyseistä teknologiaa kannattaisi hyödyntää työohjeistuksessa, ja miten sen hyödyntäminen voidaan toteuttaa järkevällä ja oppimista tukevalla tavalla. Teknologiaa ei tulisi hyödyntää pelkästään sen itsensä vuoksi – kohderyhmän tarpeiden kuunteleminen ja aidosti hyödyllisten käyttötapojen löytäminen on paljon tärkeämpää. Lisäksi työohjeet ovat ihan niin hyviä kuin miten huolellisesti niiden sisältö suunnitellaan ja tehdään. Vaikka kaikki eivät käyttäisi työssään edistyneintä teknologiaa, voi jokainen tuntea ylpeyttä siitä, että on työssä korkean teknologian yrityksessä. Teknologia ei yksinään saa mitään aikaan. Työntekijät tietävät, että teknologiaa on, ja että sen avulla kilpaillaan.

Työohjeistus on yksi mahdollinen, ja paljon kiinnostusta herättänyt lisätyn todellisuuden sovellusalue. Eri alojen tutkimustulosten perusteella lisätyn todellisuuden käyttö työohjeistuksessa voisi olla hyödyllistä monelta eri kantilta. Eri tutkimustuloksista saatavien hyötyjen (nopeus, laatu) prosenttiosuudet kuitenkin vaihtelivat laajasti. Tämä johtuu siitä, että jokaiseen tutkimuskohteeseen oli räätälöity oma lisätyn todellisuuden sovellus ja käytettävissä laitteistossa oli eroja. Lisäksi tutkittavaan asiaan vaikuttavat esimerkiksi käytettävien työohjeiden nykyinen taso, tehtävien laajuus ja monimutkaisuus sekä työntekijöiden ammattitaito ja kokemus.

Koska lisätyn todellisuuden ratkaisut ovat vielä usein kohteeseen räätälöityjä, myös lisätyn todellisuuden ohjeistuksen toimivuus riippuu kohteesta. Useiden tutkimustulosten perusteella lisätyn todellisuuden ohjeistuksen avulla olisi mahdollista saavuttaa useita eri hyötyjä. Lisätyn todellisuuden ohjeistusta pitäisi kokeilla käytännössä. Jos käytännössä ei päästä kokeilemaan, ei myöskään kehitystä asian tiimoilta tapahdu. Kilpailussa menestyminen vaatii yrityksiltä jatkuvaa kehittymistä. Kokoonpanotyössä työohjeistuksen tarve on erityisesti uusilla tuotteilla ja henkilöillä. Vain käytännössä kokeilemalla saadaan tuloksia ja kerättyä tietoa lisätyn todellisuuden eri hyödyistä. Jatkokehitystä voidaan miettiä tarkemmin kokeilussa saatujen tuloksien perusteella.

Älylasit tarjoavat työntekijöille täysin uudenlaisen visuaalisen tavan päästä käsiksi dokumentteihin, kuviin, tekniisiin piirroksiin, datasyötteisiin ja jopa liikkuvaa kuvaa. Käytännössä kaikki internetissä oleva materiaali on silmien ulottuvilla, vain yhden sanan päässä. Mahdollisuus lähettää ja vastaanottaa palautetta, keskustella silmitysten asiantuntijan kanssa – mahdollisuudet ovat rajattomat. Kaikki tämä hetkessä ilman tarvetta keskeyttää käynnissä olevaa työnkulkua.

Lisätyn todellisuuden teknologia on olemassa ja sen läpimurron puolesta puhuisi myös se, että sitä voi hyödyntää laajalti yritysmaailmassa, kuluttajien arjessa ja viihteessä. Jokaisella alalla on tarvetta muutokselle ja kehitymiselle, uudistuminen on usein myös kilpailuetu. Teknologian käyttöönotto vaatii kuitenkin pilotointia, tutkimista ja kehittämistä. Varsinkin suurissa organisaatioissa mihin tahansa teknologiaan perustuvat ratkaisut ovat usein raskaita ja vaativat pitkäjänteistä käyttöönoton ja elinkaaren hallinnan suunnittelua. Jo pelkästään raskaalla muutostyöllä ja suurilla käyttöönottokustannuksilla on helppo perustella, että jokaiseen tämän hetken villitykseen ei niin vain lähdetä. Teknologia kehittyy edelleen nopeasti, ja näin mahdollisuudet lisätyn todellisuuden laajemmalle hyödyntämiselle kasvavat lähitulevaisuudessa merkittävästi, hyvissä ajoin tähän varautuminen voi säästää tulevaisuudessa. Elämme jo keskellä neljättä teollista vallankumousta ja lisätty todellisuus on osa sitä. Teknologian kehityksen nopeutuminen on kiihdyttänyt myös työn muuttamista. Uusi tekniikka on lisännyt työntekijöiden tietoja ja taitoja. Jatkotutkimusta tarvitaan paljon, mutta onneksi aktiivisia lisätyn todellisuuden tutkimusta suorittavia tahoja on melko paljon ympäri maailmaa.

Lisätyn todellisuuden sovelluksia voidaan mm. käyttää abstraktien, näkymättömien tai hankalasti saavutettavien asioiden mallintamiseen, tällöin ongelmat voidaan ratkaista jo etukäteen.

## **8.1 Rajoitukset ja haitat**

Lisätyn todellisuuden teknologian käyttöönotto aiheuttaa kustannuksia kuten mitkä tahansa uuden teknologian käyttöönotto. Kustannuksia aiheuttavat mm. uuteen teknologiaan investointi, uuden tekniikan opettelu/koulutus ja mahdolliset tekniset ongelmat, joita voivat olla seurannan hitaus, epätarkkuus, suorituskyky, reaaliaikaisuuden puuttuminen yms. Älylasien ongelmina ovat olleet mm. sosiaalinen hyväksyttävyyys, silmien väsyminen, lasien koko ja paino sekä akkujen kesto.

Kustannuksia alentavat ja tuotantoa tehostavat investoinnit ovat kannattavuuden kannalta tärkeitä. Mikään teknologia tai järjestelmä ei kuitenkaan tuo lisäarvoa asiakkaille/työntekijöille tai lisää tehokkuutta ja tuo kustannussäästöjä organisaatioille ellei sitä käytetä.



Kaikkia lisätyn todellisuuden visioita ei käytännössä ole realistista toteuttaa pilotin ensimmäisessä vaiheessa. Myöhemmin, jos havaitaan, että lisätty todellisuus toimii, voi toiminnollisuuksia tarpeen mukaan kehittää ja lisätä. Lisätty todellisuus ei välttämättä ole ainoa mahdollinen teknologia tietyn tyyppisten tavoitteiden saavuttamiseksi. Sama tavoite voidaan saavuttaa joukolla vaihtoehtoisia menetelmiä ja välineitä. Useita yksittäisiä eri tarkoituksia varten on olemassa erillisiä laitteita, automatiikkaa ja valmiita ratkaisuja, esimerkiksi ladontarobotit, tarkastukseen kehitetyt laitteet, RFID-tunnistuksen hyödyntäminen. Kokoonpanossa ei ihmistyötä voida vielä pitkään aikaan kokonaan korvata, joten on mietittävä mitkä teknologiat toimivat missäkin yhteydessä parhaiten apuna. Jotkut menetelmät ja välineet ovat todennäköisesti parempia ja etenkin kustannustehokkaampia valintoja tiettyjen tavoitteiden saavuttamiseen. Pitää miettiä, mikä on kustannustehokasta ja samalla järkevää. On myös muistettava tarkastella kokonaisuutta ja tehdä kartoituksia, ettei hankita päällekkäisiä teknologioita.

Lisätyn todellisuuden mukana esille nousee aivan uudenlaisia asioita, jotka pakottavat tarkastelemaan näitä teknologioita erilaisten sopimusten ja sääntöjenkin näkökulmasta (mm. tekijänoikeudet, yksityisyys).

Lisätty todellisuus auttaa käyttäjää keskittymään tehtävään mutta tällä voi olla myös haittapuolensa. Suositun Pokémon GO -mobiilipelin ympärillä on viime aikoina ollut paljon keskustelua vaaratilanteista liikenteessä, ryöstön kohteeksi joutumisesta ja ihmisten menemisistä kielletyille alueille. Toki voidaan miettiä, onko näihin syyppäänä lisätty todellisuus vai itse käyttäjä.

## **8.2 Lisätyn todellisuuden tulevaisuus**

Lisätystä todellisuudesta povataan seuraavaa suurta teknologista vallankumousta. Uskotaan, että lisätty todellisuus tulee muuttamaan maailmaa enemmän kuin Internet on tähän saakka tehnyt, sillä teknologian käyttömahdollisuudet ovat lähes rajattomat.

Useat tahot yrittävät luoda entistä kekseliäämpiä ratkaisuja ja uusia lisätyn tulevaisuuden sovelluksia on luvassa monella uudella alalla. Lisätyn todellisuuden sovelluksia ja teknologiaa kehitetään voimakkaasti, se tulee mullistamaan tutkimuksen ja teollisuuden lisäksi myös ihmisten jokapäiväisen elämän. Sen käyttö tulee kasvamaan, ja se tarjoaa uudenlaisia nykyaikaisia mahdollisuuksia.

Käyttöliittymät paranevat ja teknologian käyttö tulee olemaan osa jokapäiväistä elämää. Tulevaisuudessa tulee olemaan laitteita, käyttötapoja ja sovelluksia, joita ei osata vielä ajatella. Lisätyn todellisuuden sovellusten tulevaisuudessa on enemmän mahdollisuuksia kuin rajoitteita.

Tulevaisuudessa lisätyn todellisuuden sovellukset tulevat konvergoitumaan myös muihin teknologioihin, niiden luonti helpottuu, laitteiden teho, tarkkuus ja luotettavuus kasvavat. Lisätyn todellisuuden hintataso ja teknologian koko puolestaan laskee, esimerkiksi piilolaseihin voidaan implementoida lisätyn todellisuuden teknologiaa. Teknologian käyttö lisääntyy joka alalla, esimerkiksi opetuksessa e-kirjojen, tablettien ja älypuhelimien käyttö on kasvanut, joten tämä edistää yleisemmin mielenkiintoa myös lisätyn todellisuuden käyttöä kohtaan. Lisätyn todellisuuden markkinoita pidetään yleisesti reilusti suurempana markkinana kun virtuaalitodellisuutta.

Pokemon Go älypuhelinpeli on osoittanut miten innovatiivisesti lisättyä todellisuutta voidaan hyödyntää ja on vasta alku suuremmalle vallankumoukselle. Kameran ja suorittimen kehittyvät jatkuvasti, mikä luo valtavat mahdollisuudet kaupankäynnin ja tuotannon kehittämiseen tulevaisuudessa.

## LÄHTEET

Aittala, M. 2010. Inverse lighting and photorealistic rendering for augmented reality.

Visual Computer. Vol. 26 (2010) No: 6–8, 669–678.

Alasippola, V. 2014. Työohjeiden luominen maalämpöpumppujen kokoonpanolinjalle. Lahden ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan Koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Viitattu 1.10.2016, [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/73434/Alasippola\\_Ville.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/73434/Alasippola_Ville.pdf?sequence=1)

Art + com 2016. Viitattu 16.5.2016, [https://artcom.de/wp-content/uploads/2014/08/Augmented\\_Reality\\_03-900x426.jpg](https://artcom.de/wp-content/uploads/2014/08/Augmented_Reality_03-900x426.jpg).

AUGMENTEDREALITY.ORG 2015. Smart Glasses Market Report 2015. Viitattu 15.5.2016, <http://www.augmentedreality.org/>.

Augeri, T. 2016. Industrial Augmented Reality: Has It Really Arrived? Viitattu 16.5.2016, [http://thesocialmediamonthly.com/wp-content/uploads/2016/03/MAINTENANCE\\_AugmentedReality.jpg](http://thesocialmediamonthly.com/wp-content/uploads/2016/03/MAINTENANCE_AugmentedReality.jpg).

Avery, B., Smith, R., Piekarski, W. & Thomas, B. 2009. Designing Outdoor Mixed Reality Hardware Systems. Viitattu 11.11.2015, <http://www.tinmith.net/papers/avery-springer-2010.pdf>.

Azuma, R. 1997. A Survey of Augmented Reality. Viitattu 11.11.2016, <http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>.

Azuma, R., Hoff, B., Neely H., Sarfaty, R. & Daily M. 1998. Making Augmented Reality Work Outdoors Requires Hybrid Tracking. Viitattu 14.4.2016, <http://www.cs.unc.edu/~azuma/IWARpos.pdf>.

Azuma, R. 2001. Recent Advances in Augmented Reality. IEEE Computer Graphics and Applications 21(6): 35, 2001.

BCG, 2016. Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. Viitattu 7.5.2016, [https://www.bcgperspectives.com/content/articles/engineered\\_products\\_project\\_business\\_industry\\_40\\_future\\_productivity\\_growth\\_manufacturing\\_industries/](https://www.bcgperspectives.com/content/articles/engineered_products_project_business_industry_40_future_productivity_growth_manufacturing_industries/).

Carmichael, G., Biddle, R. & Mould, D. 2012. Understanding the Power of Augmented Reality for Learning. Viitattu 14.5.2016, [http://gigl.scs.carleton.ca/sites/default/files/gail\\_carmichael/elearn2012.pdf](http://gigl.scs.carleton.ca/sites/default/files/gail_carmichael/elearn2012.pdf).

Carmigniani, J. & Furht, B. 2011. Augmented Reality: An Overview. Viitattu 5.2.2016, <http://pire.fiu.edu/publications/Augmented.pdf>.

Cnet 2013. Avegant's Virtual Retinal Display prototype takes Oculus Rift-style immersion to the next level. Viitattu 8.5.2016, <http://www.cnet.com/products/avegant-virtual-retinal-display/>.

Digi-Capital 2016. Augmented/Virtual Reality revenue forecast revised to hit \$120 billion by 2020. Viitattu 14.5.2016, <http://www.digi-capital.com/news/2016/01/augmentedvirtual-reality-revenue-forecast-revised-to-hit-120-billion-by-2020/#.VzbVc-Qt0qs>.

Dobrev, N. 2015, Älylasisovellus nosturioperaattorin työn tukena, Tampereen Teknillinen Yliopisto. Tietojohdaminen koulutusohjelma. Diplomityö. Viitattu 14.5.2016, <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/23343/dobrev.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Expense Reduction Analysts Europe, 2015, Neljäs teollinen vallankumous: teollinen internet. Viitattu 8.5.2016, <http://fi.expensereduction.com/ajankohtaista/extra-profit-blog/blogs/news/neljaesteollinen-vallankumous-teollinen-internet/nc/n/na/d/>.

Grubert, J. & Grasset, R. 2013. Augmented reality for Android application development. Viitattu 25.9.2016, <http://ftp.factor.lg.ua/books/PP.Augmented.Reality.for.Android.Application.Development.Nov.2013.pdf>.

Haag, M., Salonen, T., Siltanen, P., Sääsäski, J. & Järvinen, P. 2011. Työohjeiden laadintamenetelmiä kappale-tavaratuotannossa. VTT Technical Research Centre of Finland. Viitattu 7.1.2016, <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2011/W162.pdf>.

Hatch, M. J. 2006. Organization theory: Modern, symbolic-interpretative and postmodern perspectives. Viitattu 4.8.2016, [https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=tv4CMvRMwooc&oi=fnd&pg=PP1&dq=Hatch,+M.+J.+2006.+Organization+theory:+Modern,+symbolic-interpretative+and+postmodern+perspectives.+New+York:+Oxford+University+Press.&ots=SIS8cY-AJVr&sig=JCyoaSe7YlugYLAcgdwt7EamGaQ&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=tv4CMvRMwooc&oi=fnd&pg=PP1&dq=Hatch,+M.+J.+2006.+Organization+theory:+Modern,+symbolic-interpretative+and+postmodern+perspectives.+New+York:+Oxford+University+Press.&ots=SIS8cY-AJVr&sig=JCyoaSe7YlugYLAcgdwt7EamGaQ&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false).

Henderson, S. & Feiner, S. 2011. Exploring the Benefits of Augmented Reality Documentation for Maintenance and Repair. In IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 17(10), 1361,1367. Viitattu 29.5.2016, <http://monet.cs.columbia.edu/projects/armar/pubs/henderson-FeinerTVCG2011.pdf>.

Industrial Agile Solutions, 2016, Industry 4.0. Viitattu 7.5.2016, <http://www.industrialagilesolutions.com/industry-4-0/>.

Jalonen, R. 2012. Prosessien kuvaamisen perusteita. Viitattu 11.12.2015, [http://media.ims.fi/Artikkelit/Prosessit/21201\\_Artikkeli\\_Prosessien\\_kuvaamisen\\_perusteita-1.PDF](http://media.ims.fi/Artikkelit/Prosessit/21201_Artikkeli_Prosessien_kuvaamisen_perusteita-1.PDF).

Jäppinen, H.E 2010. Lean management - soveltaminen eri aloilla ja mahdollisuudet kiinteistöliiketoiminnassa. Aalto-yliopisto. Teknillinen korkeakoulu. Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta. Kandidaatintyö. Viitattu 1.10.2016. [http://arvo.aalto.fi/publications/kandi\\_jappinen.pdf](http://arvo.aalto.fi/publications/kandi_jappinen.pdf).

Kalalahti, J. 2014. Kokemuksia ja opittua lisätyn todellisuuden opetuskäytöstä. Tampereen yliopisto. Informaatiotieteiden yksikkö. AVO2 / 3DM-osahankkeen julkaisuja. Viitattu 24.8.2016, <https://tampub.uta.fi/handle/10024/95270>.

Kallio, S. 2015. Lisätty todellisuus mobiilipelinkehityksessä. Tampereen ammattikorkeakoulu, Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma, opinnäytetyö. Viitattu 13.10.2016. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/102597/Kallio\\_Satu.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/102597/Kallio_Satu.pdf?sequence=1).

Kallunki, J. 2014. Briketöinnin laadun kehittäminen. Oulun ammattikorkeakoulu, Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Viitattu 24.9.2016. [https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/75481/Kallunki\\_Jenni.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/75481/Kallunki_Jenni.pdf?sequence=1).

Kangasaho, R. & Toikkanen, P. 2000. Näkökokemuksen merkitys liikkumisessa ja tilakäsityksen muodostumisessa. Jyväskylän Yliopisto. Erityispedagogiikan laitos. Pro gradu –tutkielma. Viitattu 24.8.2016, <https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/7917/kangasaho.pdf?sequence=1>.

Kashyap, K. 2012. Sixth Sense Technology. Viitattu 7.5.2016, <http://kalpeshkashyap.blogspot.fi/2012/11/sixth-sense-technology.html>.

Kato, H. & Billinghurst, M. 1999. Marker Tracking and HMD Calibration for Video-based Augmented Reality Conferencing System. Viitattu 5.12.2016, <https://www.hitl.washington.edu/artoolkit/Papers/IWAR99.kato.pdf>.

Kiyokawa, K., Billinghurst, M., Campbell, B. & Woods E. 2003. An Occlusion-Capable Optical See-through Head Mount Display for Supporting Co-located Collaboration. Viitattu 11.12.2015, <http://bdcampbell.net/articles/ISMARPaper.pdf>.

Kouri, I. 2010. LEAN taskukirja. Helsinki: Teknologiateollisuus ry.

Laine, P. & Haili, A. 2013. Työkierto osaamisen johtamisen tukena. Lahden ammattikorkeakoulu, Liiketalouden ala. Viitattu 24.9.2016, [http://www.lpt.fi/tykes/methods\\_docs/tyokierto\\_osaamisen\\_johtamisen\\_tukenamenetelmakortti\[2\].pdf](http://www.lpt.fi/tykes/methods_docs/tyokierto_osaamisen_johtamisen_tukenamenetelmakortti[2].pdf).

Leskinen, S. 2011. Enon energiaosuuskunnan sisäinen asiakastyytyväisyys. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Viitattu 1.10.2016, <http://docplayer.fi/2407194-Pohjois-karjalan-ammattikorkeakoulu.html>

Martola, U. & Santala, R. 1997. Liiketoimintaprosessit. Porvoo: WSOY

Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A. & Kishino, F. 1994. Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. Viitattu 20.12.2015, [http://wiki.commres.org/pds/Project\\_7eNrf2010/\\_5.pdf](http://wiki.commres.org/pds/Project_7eNrf2010/_5.pdf).

Moisalo, V. P. 2010. Arjen johtaminen: käytännön esimiestyötä. Helsinki: Infor.

Myers, K. 2012. How Augmented Reality Can Change Teaching. Getting Smart. Viitattu 7.5.2016, [http://gettingsmart.com/cms/blog/2012/12/how-augmented-reality-can-change-teaching/?\\_tmc=HYfiT-PA2pDKaYpQijuz3CDWxU9LZOg2clqSCS\\_FtTI](http://gettingsmart.com/cms/blog/2012/12/how-augmented-reality-can-change-teaching/?_tmc=HYfiT-PA2pDKaYpQijuz3CDWxU9LZOg2clqSCS_FtTI).

Mäkijärvi. M. 2010. Lean-menetelmä suomalaisessa terveydenhuollossa. Tampereen Yliopisto. Tampereen teknillinen yliopisto. Sosiaali- ja terveysjohtamisen MBA –tutkielma. Viitattu 1.10.2016, [http://www.hus.fi/hus-tietoa/materiaalipankki/esitysmateriaalit/Yleinen%20piilokirjasto%20yksittisille%20tiedostoille/Lean-menetelma\\_suomalaisessa\\_terveydenhuollossa.pdf](http://www.hus.fi/hus-tietoa/materiaalipankki/esitysmateriaalit/Yleinen%20piilokirjasto%20yksittisille%20tiedostoille/Lean-menetelma_suomalaisessa_terveydenhuollossa.pdf).

Nokia, Networks Oy 2015, Assembly instruction, 133-135949\_12, s.35, sisäinen lähde. Viitattu 31.8.2016.

Nuutinen P. 2010, Lisätyn todellisuuden hyödyntäminen suunnittelukatselmoinnissa. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Konetekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. Viitattu 7.5.2016, <http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/6908/nuutinen.pdf?sequence=3>.

Opetushallitus 2013, Lisätty todellisuus. Ammatti Peda. Viitattu 7.5.2016, [http://www10.edu.fi/ammattipeda/?sivu=lisatty\\_todellisuus](http://www10.edu.fi/ammattipeda/?sivu=lisatty_todellisuus).

Phoenix Contact Oy 2016, Näin Industrie 4.0 toimii. Viitattu 6.5.2016, [https://www.phoenixcontact.com/online/portal/fi?1dmy&urile=wcm:path:/fifi/web/offcontext/insite\\_landing\\_pages/97fa6d4e-0bd3-40fc-b894-8f1a363db3b4/97fa6d4e-0bd3-40fc-b894-8f1a363db3b4](https://www.phoenixcontact.com/online/portal/fi?1dmy&urile=wcm:path:/fifi/web/offcontext/insite_landing_pages/97fa6d4e-0bd3-40fc-b894-8f1a363db3b4/97fa6d4e-0bd3-40fc-b894-8f1a363db3b4).

Pilz GmbH & Co. KG 2016, Industrie 4.0. Viitattu 6.5.2016, [https://www.pilz.com/fi-FI/company/industry40#hl\\_16010\\_3](https://www.pilz.com/fi-FI/company/industry40#hl_16010_3).

Radkowski, R. 2013. Augmented Reality Supplement Work Instructions. Iowa State University. Viitattu 29.5.2016, [http://www.nist.gov/el/msid/upload/2Radkowski\\_AugmentedReality.pdf](http://www.nist.gov/el/msid/upload/2Radkowski_AugmentedReality.pdf).

Richardson, T., Gilbert, S., Holub, J., Thompson, F., MacAllister, A., Radkowski, R., Winer, E., Davies, P. & Terry, S. 2014. Fusing Self-Reported and Sensor Data from Mixed-Reality Training. Iowa State University. Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference. Viitattu 21.5.2016, <http://www.frederickt.com/pubs/iitsec2014.pdf>.

Rokka, T. 2015. Kiinteistö- ja teollisuusmaalämpöpumppujen valmistus-, testaus- ja tarkastusohjeistus. Lahden ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Viitattu 15.5.2016, [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/90502/Rokka\\_Tuomas.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/90502/Rokka_Tuomas.pdf?sequence=1).

Ruohotie, P. & Honka, J. 2002. Palkitseva ja kannustava johtaminen. Helsinki: Edita Prima Oy.

Sahi, A. 2010. Liiketoimintaprosessien kehittäminen. Tampereen Ammattikorkeakoulu. Viitattu 24.9.2016, <http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojak-sot/0303012/1106227851022/1106577077518/1107020071174/1149232283787.html>.

Salonen, T., Sääski, J., Woodward, C., Hakkarainen, M., Korkalo, O. & Rainio, K. 2009. Augmented Assembly – Ohjaava kokoonpano. Loppuraportti. VTT Technical Research Centre of Finland. Viitattu 1.1.2016, <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2009/W138.pdf>.

Schnabel, M., Wang, X., Seichter, H. & Kvan, T. 2007. From virtuality to reality and back. The University of Sydney, University of Canterbury & University of Melbourne. Viitattu 5.12.2015, <http://www.sd.polyu.edu.hk/iasdr/proceeding/papers/From%20Virtuality%20to%20Reality%20and%20Back.pdf>.

Shelton, B. E. & Hedley, N. R. 2002. Using Augmented Reality for Teaching Earth-Sun Relationships to Undergraduate Geography Students. Paper presented at the First IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop, Darmstadt, Germany. Viitattu 15.10.2016. <http://depts.washington.edu/pettt/papers/shelton-hedley-art02.pdf>.

Siltanen, S. 2012. Theory and applications of marker-based augmented reality. VTT Technical Research Centre of Finland. Viitattu 3.1.2016, <http://www.vtt.fi/inf/pdf/science/2012/S3.pdf>.

Softpedia, 2016, Samsung Receives Patent for Smart Contact Lenses. Viitattu 7.5.2016, <http://news.softpedia.com/news/samsung-receives-patent-for-smart-contact-lens-502652.shtml>.



Suhonen, M. 2010. Lisätyn todellisuuden käyttö rakentamisessa. Kymenlaakson Ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Viitattu 7.5.2016, [https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/20842/lisatyn\\_todellisuuden\\_kaytto\\_rakentamisessa.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/20842/lisatyn_todellisuuden_kaytto_rakentamisessa.pdf?sequence=1).

Sung, D. 2011. Augmented reality: a long way off? Verkkodokumentti. Viitattu 25.9.2016, <http://www.pocket-lint.com/news/108949-augmented-reality-interview-steve-feiner>

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry 2016. Laadunhallinnan periaatteet. Viitattu 1.10.2016. [http://www.sfs.fi/julkaisut\\_ja\\_palvelut/tuotteet\\_valokeilassa/iso\\_9000\\_laadunhallinta/laadunhallinnan\\_periaatteet](http://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/tuotteet_valokeilassa/iso_9000_laadunhallinta/laadunhallinnan_periaatteet).

Sääski, J., Salonen, T., Hakkarainen, M., Siltanen, S., Woodward, C. & Lempiäinen, J. 2008. Integration of Design and assembly using augmented reality. *Micro Assembly Technologies and Applications 2008*, 260: 395-404. Viitattu 15.5.2016, [http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-0-387-77405-3\\_39](http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-0-387-77405-3_39).

Sääski, J., Salonen, T., Liinasuo, M., Pakkanen, J., Vanhatalo, M. & Riitahuhta, A. 2008. Augmented Reality Efficiency in Manufacturing Industry: A Case Study. *DS 50: Proceedings of NordDesign 2008 Conference 21-23.08.2008*. 99–109. Viitattu 29.5.2016, [https://www.designsociety.org/publication/27359/augmented\\_reality\\_efficiency\\_in\\_manufacturing\\_industry\\_case\\_study](https://www.designsociety.org/publication/27359/augmented_reality_efficiency_in_manufacturing_industry_case_study).

Tang, A., Owen, C., Biocca, F. & Mou, W. 2003. Comparative Effectiveness of Augmented Reality in Object Assembly. *Conference CHI'03 Human Factors in Computing Systems*. 5-10.4.2003. Viitattu 21.5.2016. <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=642611.642626>.

Techworm, 2016. Viitattu 8.5.2016, [www.techworm.net/](http://www.techworm.net/).

Tuominen, K. 2010. LEAN – Tehoa ja laatua hukan vähentämiseen. Juva: WS Bookwell Oy.

Työ- ja elinkeinoministeriö, Ammattinetti 2016. Viitattu 24.9.2016, [http://www.ammattinetti.fi/ammattialat/detail/22/36\\_ammattiala;jsessionid=3377EB266B45BDE7A12AC3F50BFFF5E2?print=true](http://www.ammattinetti.fi/ammattialat/detail/22/36_ammattiala;jsessionid=3377EB266B45BDE7A12AC3F50BFFF5E2?print=true).

Valimont, R. B., Gangadharan, S. N., Vincenzi, D. A., & Majoros, A. E. 2007. The Effectiveness of Augmented Reality as a Facilitator of Information Acquisition in Aviation Maintenance Applications. *Journal of Aviation/Aerospace Education & Research*, 16(2). Embry-Riddle Aeronautical University. 35–43. Viitattu 14.6.2016, <http://commons.erau.edu/jaaer/vol16/iss2/9>.

Virta, V. 2013. Augmentoidun todellisuuden tieteelliset sovellukset. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Elektroniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Viitattu 5.5.2016, [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/63173/Virta\\_Ville.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/63173/Virta_Ville.pdf?sequence=1).

VTT 2009. Augmented assembly – Ohjaava kokoonpano, Loppuraportti. Viitattu 15.5.2016, <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2009/W138.pdf>.

VTT 2015. Kännykkä osaksi tavallisia silmälaseja. Viitattu 15.5.2016, <http://www.vtt.fi/medialle/uutiset/k%C3%A4nnykk%C3%A4-osaksi-tavallisia-silm%C3%A4laseja>.

VTT 2016a. Augmented Reality / 3D Tracking - ALVAR. Viitattu 9.5.2016, <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj2/multimedia/alvar/index.html>.

VTT 2016b. Lisätty todellisuus ja 3D-kameranseuranta. Viitattu 15.4.2016, <http://www.vtt.fi/palvelut/digitaalinen-maailma/dataperustaiset-ratkaisut/uudet-k%C3%A4ytt%C3%B6liittym%C3%A4t/lis%C3%A4tty-todellisuus-ja-3d-kameranseuranta>.

Wang, X. & Dunston. P.S. 2005. Compatibility issues in Augmented Reality systems for AEC: An experimental prototype study. University of Sydney, School of Architecture, Design Science and Planning. Purdue University, School of Civil Engineering. 314-326. Viitattu 16.4.2016, [http://www.academia.edu/18108288/Compatibility\\_issues\\_in\\_Augmented\\_Reality\\_systems\\_for\\_AEC\\_An\\_experimental\\_prototype\\_study](http://www.academia.edu/18108288/Compatibility_issues_in_Augmented_Reality_systems_for_AEC_An_experimental_prototype_study)

Wikimedia, 2012. Laajennettu todellisuus. Viitattu 5.5.2015, [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laajennettu\\_todellisuus\\_5\\_Schnabel.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laajennettu_todellisuus_5_Schnabel.png).

Wikipedia common, 2012. Laajennettu todellisuus 5 milgram.png. Viitattu 5.12.2015, [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laajennettu\\_todellisuus\\_5\\_milgram.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laajennettu_todellisuus_5_milgram.png).

Wikipedia, 2016a. List of augmented reality software. Viitattu 5.5.2016, [http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_augmented\\_reality\\_software](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_augmented_reality_software).

Wikipedia, 2016b. Real Time Kinematic. Viitattu 13.10.2016, [https://en.wikipedia.org/wiki/Real\\_Time\\_Kinematic](https://en.wikipedia.org/wiki/Real_Time_Kinematic).

Wikipedia, 2015. EyeTap. Viitattu 8.5.2016, <http://en.wikipedia.org/wiki/EyeTap>.

Yle, 2016. Älylasit vapauttavat kädet – sovellusmahdollisuudet kuntoilusta terveydenhoitoon. Viitattu 14.5.2016, [http://yle.fi/uutiset/alylasit\\_vapauttavat\\_kadet\\_\\_sovellusmahdollisuudet\\_kuntoilusta\\_terveydenhoitoon/8725132](http://yle.fi/uutiset/alylasit_vapauttavat_kadet__sovellusmahdollisuudet_kuntoilusta_terveydenhoitoon/8725132).