



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

**NIKI DOBREV**

**ÄLYLASISOVELLUS NOSTURIOPERAATTORIN TYÖN TUKENA**

Diplomityö

Tarkastaja: professori Samuli Pekkola  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty Talou-  
den ja rakentamisen tiedekuntaneu-  
voston kokouksessa 4. maaliskuuta  
2015

# TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Tietojohtamisen koulutusohjelma

**DOBREV, NIKI:** Älylasisovellus nosturioperaattorin työn tukena

Diplomityö, 67 sivua, 6 liitesivua

Syyskuu 2015

Pääaine: Logistiikka

Tarkastaja: professori Samuli Pekkola

Avainsanat: Älylasit, lisätty todellisuus, lisätty todellisuus teollisuudessa, nosturioperaattori

Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia, millä tavoin älylaseilla toimivalla lisätyn todellisuuden sovelluksella voidaan tukea nosturioperaattorin päivittäistä työtä. Hyötyjä tutkittiin turvallisuus- sekä käyttömukavuusnäkökulmista. Hyötyjen lisäksi tutkittiin sovelluksen käyttöönoton teknisiä sekä sosioteknisiä haasteita.

Tutkimus toteutettiin suunnitteluteknisenä tutkimuksena rakentamalla nosturioperaattorin työtä tukeva prototyypisovellus. Sovelluksen evaluointi suoritettiin käyttäjättestillä, johon osallistui testihenkilöinä viisi kokenutta nosturioperaattoria. Käyttäjätesteistä kerättiin dataa haastattelemalla, kirjallisella kyselyllä sekä suoraan nosturin antureista. Turvallisuushyötyjen tutkimus tehtiin tutkimalla anturidatasta saatuja operaattorin ohjauksikäskyjä sekä analysoimalla testihenkilöiden haastatteluita. Käyttömukavuutta tutkittiin kirjallisen käytettävyysskyselyn sekä haastattelujen avulla. Teknisiä haasteita tutkittiin prototyypisovelluksen rakentamisen sekä käyttäjättestien aikana ilmenneiden ongelmien näkökulmasta. Sosiotekniset haasteet selvitettiin analysoimalla testihenkilöiden haastatteluja.

Tutkimuksessa selvisi sovelluksen tuottavan turvallisuus- ja käyttömukavuushyötyjä jo tällaisenaan, joten sovelluksen toteuttaminen loi hyvän pohjan jatkokehitykselle. Verrattaessa älylasiavusteista toimintatapaa nykyiseen toimintatapaan, hyödyllisimmät sovelluksen tarjoamista toiminnoista olivat taakan painon näyttäminen, laadunvarmistuksen parantaminen valokuvan avulla sekä navigointiavustaja. Suurimmat tekniset haasteet koskivat tutkimuksessa käytettyjen älylasien kameran huonoa laatua sekä akkukestoa. Kameran huono laatu vähensi optisen seurannan tarkkuutta ja sen myötä teki reaali-maailman suhteen rekisteröidyistä malleista epävakaita ja täriseviä. Akkukeston ongelmat rajoittavat kyseisten älylasien käyttöä tuotantosovelluksissa, sillä kesto oli vain noin 2-4 tuntia, joka on liian vähän kokopäiväiseen tuotantokäyttöön. Sosioteknisistä haasteista suurimmiksi nousivat sovelluksen toimintavarmuus ja käyttäjän luottamus järjestelmään. Tämän lisäksi myös muutosvastarintaa sekä uuden toimintatavan opettelua pidettiin ongelmana, etenkin kun sovellusta käyttää kokenut nosturioperaattori, joka on tottunut vanhaan toimintatapaan.

## ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Information and Knowledge Management

**DOBREV, NIKI:** Smart Glass Application for Crane Operator

Master of Science Thesis, 67 pages, 6 Appendix pages

September 2015

Major: Logistics

Examiner: Professor Samuli Pekkola

Keywords: Smart glasses, augmented reality, industrial augmented reality, crane operator

Aim for the thesis was to research possibilities to support crane operator's daily work with an augmented reality smart glass application from the perspective of safety and comfort of use. In addition to benefits, also challenges arising when taking the application into production use were researched from both technical and sociotechnical perspective.

The study was carried out as a design science-research by implementing a prototype application and evaluating it. The application was evaluated with a user test, in which five experienced crane operators participated. Data for evaluation was collected during the user test with three different methods: an interview, a written usability questionnaire and fetching real-time data from crane's sensors. Safety benefits were researched by analyzing both extracted movement commands from crane sensor data and the operator interviews. Comfort of use was researched by analyzing the operator interviews and the questionnaire. Technical challenges were researched by writing down all the problems that appeared during the application development and user test. Sociotechnical challenges were researched by analyzing the operator interviews.

The conclusion of this study was, that even at this point, as a non-production ready prototype, the application was able to benefit both safety and comfort. Therefore the prototype is a good starting point for further development. In comparison with the current way of operating a crane, the most useful functionalities provided by the new smart glass aided approach were: current hook load-indicator, quality control with a photo and crane hook navigation aid. The biggest technical challenges were the poor camera and battery life of the smart glasses. The poor camera decreased the accuracy for optical tracking and therefore made the models, that were anchored to real world, unstable and shaky. Battery life was only about 2-4 hours, which is not enough for full-day real production use. The biggest sociotechnical issues were the robustness of the system and users trust in the application. In addition, resistance to change and to learn a totally new approach for operating the crane were identified as challenges, especially when the user is an experienced crane operator who is used to the old way of operating.

## ALKUSANAT

Diplomityön aloittaminen on siirtynyt allekirjoittaneelta useaan otteeseen. Kuitenkin vihdoin, pakon edessä opinto-oikeuden loppumisen vuoksi, koko projekti lähti talvella 2015 käyntiin ja valmistui vajaa viisi kuukautta kestäneellä puristuksella. Aiheeksi valikoitui henkilökohtaisen kiinnostuksen perusteella lisätty todellisuus. Onneksi myös yhteistyöyrityksellä Konecranesilla oli samat kiinnostuksen kohteet, joten aihe tarkentui nosturioperaattorin työn ja lisätyn todellisuuden yhdistämiseen.

Kun tähän pisteeseen on nyt päästy, on kiitosten aika. Ensinnäkin suurkiitokset Konecranesin puolelta ohjaajanani toimineelle Johannes Tarkiaiselle sekä TTY:n puolelta ohjaajanani toimineelle professori Samuli Pekkolalle. Konecranesin puolelta lisäksi kiitokset erityisesti sovelluksen ominaisuuksien kehitystyössä ja testauksessa suuresti auttaneelle Kimmo Rantalalle. Kiitos myös Olli-Pekka Niemiselle Konecranesin ja allekirjoittaneen yhteistyön alkuun saattamisesta sekä kommentteista työn kirjallista osiota koskien. Lopuksi vielä suurkiitos paremmalle puoliskolleni Marjalle positiivisesta tuesta koko diplomityöprosessin ajan!

Helsingissä 2.9.2015

Niki Dobrev

# SISÄLLYS

	Tiivistelmä.....	I
	Abstract.....	II
	Alkusanat.....	III
	Termit ja niiden määritelmät.....	VI
1	Johdanto.....	1
	1.1 Tutkimuksen tausta.....	1
	1.2 Tutkimuksen tavoitteet, tutkimusongelma ja rajaus.....	2
	1.3 Tutkimusmenetelmä.....	3
	1.3.1 Suunnittelutieteellinen tutkimus.....	3
	1.3.2 Suunnittelutieteellinen tutkimusmenetelmä.....	5
	1.4 Tutkimuksen rakenne.....	6
2	Lisätty todellisuus.....	8
	2.1 Määritelmä.....	8
	2.2 Lisätyn todellisuuden prosessi.....	12
	2.2.1 Datan kerääminen.....	13
	2.2.2 Seuranta.....	14
	2.2.3 Kuvanmuodostus.....	17
	2.2.4 Esittäminen.....	18
	2.3 Käyttökohteet teollisuudessa.....	19
	2.3.1 Sovelluksia tuottavassa teollisuudessa.....	20
	2.3.2 Sovelluksia logistiikassa.....	22
	2.3.3 Mahdollisia hyötyjä nosturioperaattorille.....	23
3	Älylasisovellus.....	24
	3.1 Prototyypisovellus teollisuuskäyttöön.....	24
	3.2 Sovelluksen komponentit.....	25
	3.3 Ohjelmistot ja kirjastot.....	27
	3.4 Laitteisto.....	28
	3.5 Haasteet.....	29
	3.5.1 Tekniset.....	29
	3.5.2 Sosiotekniset.....	31
4	Tutkimuksen toteutus.....	35
	4.1 Tutkimuskonteksti.....	35
	4.2 Tutkimusta varten toteutettu sovellus.....	36
	4.2.1 Laitteisto.....	37
	4.2.2 Ominaisuudet.....	37
	4.2.3 Toteutustekniikat.....	39
	4.3 Evaluointi.....	41
	4.3.1 Ajoskenaariot.....	42

4.4	Tiedon keräys ja analysointi.....	44
4.4.1	Anturidatamittaukset.....	44
4.4.2	Kysely.....	47
4.4.3	Haastattelu.....	48
5	Tutkimustulokset.....	49
5.1	Turvallisuus.....	49
5.1.1	Anturidata.....	49
5.1.2	Haastattelut.....	51
5.2	Käyttömukavuus.....	52
5.2.1	SUS-kysely.....	52
5.2.2	Haastattelut.....	52
5.3	Haasteet nosturiympäristössä.....	53
5.3.1	Tekniset.....	53
5.3.2	Sosiotekniset.....	54
6	Yhteenvedo.....	55
6.1	Johtopäätökset.....	55
6.2	Tutkimuksen arviointi.....	57
6.3	Jatkotutkimusaiheet.....	59
	Lähteet.....	60
	LIITE 1: Kirjastot	
	LIITE 2: Pelimoottorit	
	LIITE 3: Älylasit	
	LIITE 4: Esimerkki käyttötapauksesta	
	LIITE 5: SUS-kysely	
	LIITE 6: Haastattelurunko (teemahaastattelu)	

## TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

Artefakti	Suunnittelutieteellisen tutkimuksen osana valmistuva esine tai asia
Asento	Kappaleen sijainti sekä orientaatio
Esitysprototyyppi	Prototyyppi, jolla esitellään sovelluksen toiminnallisuuksia esimerkiksi käyttöliittymäkuvien avulla
Hybridiseuranta	Seuranta, joka toteutetaan optisen ja sensoriseurannan yhdistelmänä
Ketterä kehitys	Ohjelmistokehityksen tapa, jossa edetään lyhyissä (1-3 viikkoa) inkrementeissä
Kuvanmuodostus	Tietokonegrafiikan piirtäminen (engl. rendering)
Kädessä pidettävä näyttölaite	Kannettava näyttölaite, kuten matkapuhelin
Lisätty todellisuus	Ihmisen aistiman todellisen ympäristön muuntaminen tietokonegeneroidun informaation avulla (engl. augmented reality)
Nosturioperaattori	Nosturia ohjaava henkilö
Optinen seuranta	Kameralla tapahtuva seuranta
Pelimoottori	Pelinkehitykseen tarkoitettu ohjelmisto tai kirjasto, joka abstrahoi matalan tason toiminnallisuuksia ja helpottaa siten pelinkehitystä
Pilottiprototyyppi	Prototyyppi, joka rakennetaan toiminnallisuuksien jatkuvalla parantelulla palautteen mukaan
Päässä pidettävä näyttölaite	Älylasit tai virtuaalilasit, joissa näyttö sijoittuu suoraan silmien eteen
Seuranta	Lisätyn todellisuuden prosessin vaihe, jossa pyritään selvittämään käyttäjän asento kameran sekä sensoreiden avulla (engl. tracking)
Seurantamerkki	Sovelluksen tuntema merkki, jota käytetään optisessa seurannassa

Spatiaalinen näyttölaite	Näyttölaite, kuten videotykki, joka heijastaa virtuaaliset elementit suoraan todellisen ympäristön päälle
SUS-kysely	Käytettävyyskysely (engl. system usability scale)
Syvyyssensori	Esineiden etäisyyksiä mittaava sensori
Vähennetty todellisuus	Esineiden tai asioiden häivyttäminen ihmisen näkökentästä (engl. diminished reality)
Älylasit	Näyttölaite, joka on suoraan silmien edessä, mutta ei peitä koko näkökenttää.



# 1 JOHDANTO

Tässä luvussa esitellään ensin tutkimuksen taustaa. Tämän jälkeen käydään läpi tutkimuksen metodologiset valinnat sekä esitellään tutkimuksen rakenne.

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Informaatioteknologian kehitys on luonut uusia mahdollisuuksia parantaa myös perinteisen teollisuuden tuotteita. Uusien informaatioteknologian mahdollistamien älykkäiden ominaisuuksien lisääminen teollisiin tuotteisiin voi tuoda tuotteelle lisäarvoa ja antaa mahdollisuuden erottua kilpailijoista positiivisella tavalla (Porter & Heppelmann 2014). Tällaisen mahdollisuuden tarjoaa myös älylasien kautta toteutettava lisätty todellisuus, jonka avulla on mahdollista tuoda tietokoneella generoituja 3D-malleja tai muuta relevanttia informaatiota käyttäjän saataville siten, että se yhdistetään saumattomasti käyttäjän todelliseen näkökenttään. Viime vuosina näyttötekniikoiden parantuminen sekä tietokoneen komponenttien koon pienentyminen on mahdollistanut uuden sukupolven älylasien kehityksen. Tästä syystä erilaisten älylasien tarjonta markkinoilla on kasvanut ja trendi näyttäisi myös jatkuvan tulevaisuudessa (Vision Monday 2014).

Lisätyn todellisuuden tutkimus on aloitettu alun perin jo 1960-luvulla, mutta varsinaisesti se on vakiinnuttanut asemansa tutkimusalana vasta 1990-luvulla, jolloin termi lisätty todellisuus (engl. augmented reality) on kehitetty (Fite-Georgel 2011, s. 1; Navab 2004, s. 1). Viime vuosikymmeninä lisätyn todellisuuden tekniikat sekä tutkimus ovatkin menneet huimasti eteenpäin kaikkien osa-alueiden eli näyttötekniikoiden, tietokonegrafiikan kuvanmuodostuksen (engl. rendering) sekä esineiden seurannan (engl. tracking) osalta. Teknologisesta kehityksestä ja tutkimuksen lisääntymisestä huolimatta teollisuudessa käytettävät lisätyn todellisuuden sovellukset eivät ole vielä vakiinnuttaneet asemaansa ja lisätyn todellisuuden hyödyntäminen onkin vasta kasvamassa. Fite-Georgelin (2011) mukaan tähänastinen tutkimus on pääasiassa keskittynyt prototyyppien tutkimiseen, joista vain hyvin harvat ovat päätyneet tuotantokäyttöön. Tuotantokäyttöön siirtymisen ongelmina ovat olleet muun muassa prototyyppisovellusten skaalautuvuus sekä olemassa oleviin työtapoihin ja prosesseihin mukautuminen.

Lisättyä todellisuutta voidaan hyödyntää teollisuudessa useissa eri tuotannon vaiheissa, kuten esimerkiksi suunnittelussa tai uusien työntekijöiden koulutuksessa. Tässä työssä tutkitaan lisätyn todellisuuden käyttöä nosturioperaattorin työn kannalta. Nosturiope-

raattorin työssä on tärkeää pystyä seuraamaan nostettavan kuorman etenemistä sekä operoida nosturia käsikäyttöisen ohjaimen avulla. Lisätyn todellisuuden sovelluksella voidaan mahdollisesti tuoda lisäarvoa sekä tehostaa työtä siten, että työssä tarvittava relevantti informaatio on aina operaattorin saatavilla ilman tarvetta katseen kääntämiselle pois varsinaisesta nosturista esimerkiksi informaation hakemiseksi ulkoisesta diagnostiikkalaitteesta.

Tutkimus on toteutettu yhteistyössä Konecranes Oyj:n kanssa. Konecranes on nostolaittevalmistaja, joka tuottaa ratkaisuja monelle eri teollisuuden alalle. Yrityksen pääliiketoiminta-alueet ovat nostolaitteiden valmistus sekä niiden kunnossapitopalvelut. Yritys työllistää tällä hetkellä 12 000 työntekijää 48 maassa. (Konecranes Suomi 2015)

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet, tutkimusongelma ja rajaus

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää älylaseille toteutetun lisätyn todellisuuden sovelluksen hyötyjä nosturioperaattorin päivittäisessä työssä. Hyötyjä etsitään ensisijaisesti turvallisuus- ja käyttömukavuusnäkökulmista. Tutkimus toteutetaan kehittämällä kohdeyrityksen käyttöön prototyypisovellus, jonka avulla mahdollisia hyötyjä evaluoidaan.

Tutkimuksen päätutkimuskysymys on:

- Millaisia hyötyjä älylaseilla toimivalla lisätyn todellisuuden sovelluksella voidaan saavuttaa nosturioperaattorin työssä?

Pääkysymyksen vastaamista helpottamaan on pääkysymys jaettu seuraaviin alatutkimuskysymyksiin:

- Millaisia turvallisuushyötyjä sovelluksen avulla voidaan saavuttaa?
- Millaisia käyttömukavuushyötyjä sovelluksen avulla voidaan saavuttaa?
- Mitä teknisiä ja sosioteknisiä haasteita liittyy lisätyn todellisuuden sovelluksen toimintaan ja käyttöönottoon nosturiympäristössä?

Tutkimus rajataan koskemaan hyötyjä nosturioperaattorin normaalin työn osalta, joten mahdollisia poikkeustilanteita ja niissä toimimista ei tässä tutkimuksessa käsitellä. Myöskään muunlaisia hyötyjä, kuten esimerkiksi yritykselle koituvia kustannussäästöjä ei varsinaisesti tutkita, joskin operaattoria koskevat hyödyt ovat todennäköisesti myös yrityksen näkökulmasta toivottavia.

Toteutettava prototyyppi tullaan kehittämään ennalta määritellyä nosturioperaattorin normaalia työprosessia vastaavaksi. Koska prototyypin avulla halutaan ensisijaisesti tut-

kia lisätyn todellisuuden toimivuutta operaattorin näkökulmasta, tullaan prototyyppi kehittämään niin, että se kattaa koko operaattorin yksittäisen työtehtävän vaatimat vaiheet. Osa työprosessin vaiheista saattaa sisältää monimutkaista toiminnallisuutta, joten aikataulusyistä kaikkia toimintoja ei varsinaisesti toteuteta, vaan osasta tullaan käyttämään jäljitelmiä (engl. mockup). Tällä tavoin voidaan simuloida koko prosessin kulku ilman tarvetta toteuttaa paljon aikaa vieviä vaiheita.

### **1.3 Tutkimusmenetelmä**

Tiedon hankinta- ja prosessointitavat määräävät millaista tietoa tutkimuksesta saadaan tuotetuksi (Olkkonen 1993, s. 50). Näitä tapoja ohjaavat tutkimukseen valitut tieteenkäsitteet, tutkimusote ja tutkimusmenetelmä, jotka muodostavat hierarkkisen kokonaisuuden tutkimuksen metodologisista valinnoista.

Olkkonen (1993, s. 26) jakaa liiketaloustieteellisen tutkimuksen tieteenkäsitteet kahteen ryhmään: positivismiin ja hermeneutiikkaan. Saunders et al. (2009, s. 108) käyttävät hieman hienojakoisempaa jaottelua: positivismi, realismi, interpretivismi ja pragmatismi. Tässä jaossa Olkkosen (1993) määrittelemä hermeneutiikka vastaa pragmatismia, realismin sekä interpretivismin jäädessä positivismin ja pragmatismien väliin. Positivismi vastaa eniten perinteistä luonnontieteiden tutkimusta, jossa kaikki perustuu kerättyyn kvantitatiiviseen dataan ja siitä johdettuihin faktoihin (Saunders et al. 2009, s. 113). Hermeneutiikassa tutkimus sitä vastoin rakentuu ilmiöiden tulkitsemiseen ja usein kvalitatiivisen datan tulkintaan (Olkkonen 1993, s. 27,37).

Olkkonen (1993, s. 32) mukaan suunnittelutieteissä ihanteen mukaiseen positivismiin ei ole mahdollisuuksia sekä lisäksi niissä pyritään tavoitehakuisuuteen pelkän kuvauspyrkimyksen lisäksi. Edellä mainittu pitää paikkansa myös tämän tutkimuksen osalta. Tässä tutkimuksessa tutkimuskysymyksiin vastaaminen edellyttää kvalitatiivista tulkintaa, joten tutkimuksen vallitseva tieteenkäsite kääntyy hermeneutiikkaan.

Tieteellisen tutkimuksen tiedonhankinta perustuu eri tieteenkäsitteisiin ja ilmenee erilaisina tutkimusotteina ja -menetelminä. (Olkkonen 1993, s. 50). Tässä työssä käytetään tutkimusotteena suunnittelutieteellistä tutkimusta ja tutkimusmenetelmänä suunnittelutieteellistä tutkimusmenetelmää, jotka on esitelty tarkemmin kohdissa 1.3.1 ja 1.3.2.

#### **1.3.1 Suunnittelutieteellinen tutkimus**

Suunnittelutieteellisessä tutkimuksessa on tarkoitus vastata johonkin käytännön ongelmaan ja sen tieteelliseen perustaan rakentamalla tämän ongelman ratkaiseva esine tai asia eli artefakti. Tutkimuksen tuloksen on oltava käytännöllisesti hyödyllinen ja sen tu-

lee lisätä ongelmakentän ymmärrystä tieteellisestä näkökulmasta. (Hevner & Chatterjee 2010, s. 5)

Vaikka suunnittelutieteellisellä tutkimuksella ja käytännön suunnittelutyöllä onkin samantapainen päämäärä (uusi tuote), eroavat ne toisistaan erityisesti toimintamenetelmiensä osalta. Suunnittelutyössä pyritään rakentamaan uusia lopputuotteita käyttäen vanhoja ja koeteltuja menetelmiä, kun taas suunnittelutieteellinen tutkimus pyrkii kehittämään täysin uusia menetelmiä. Suunnittelutieteellisessä tutkimuksessa kehitetyt menetelmät voidaan sitten myöhemmin ottaa mukaan suunnittelutyöhön, jos ne havaitaan hyviksi ja toimiviksi. (Hevner & Chatterjee 2010, s. 15)

Suunnittelutieteellinen tutkimus voidaan mieltää ongelmanratkaisuksi, jonka tavoitteena on rakentaa ja evaluoida jokin käytännöllisesti hyödyllinen artefakti (Hevner & Chatterjee 2010, s. 15). Tässä työssä muodostuva artefakti on kohdeyritykselle tehtävä prototyypisovellus ja työn ongelmakentän tieteellisen kontribuution muodostaa ymmärrys artefaktin rakennusprosessista sekä yleisesti lisätyn todellisuuden hyödyntämisestä nosteriteollisuudessa.

Suunnittelutieteellisen tutkimuksen rakentamiseen on seitsemän yleisohjetta, jotka käytännössä määrittävät tutkimuksen suunnittelutieteelliseksi tutkimukseksi (Hevner et al. 2004, s. 8). Seuraavaksi käydään nämä yleisohjeet läpi ja esitellään niiden käyttöä tässä työssä.

Ensimmäinen yleisohje kehottaa, että tutkimuksen lopputuloksena syntyvän artefaktin pitäisi olla hyödyllinen ratkaisu käytännön ongelmaan (Hevner et al. 2004, s. 8). Kohdeyritykselle tehtävä prototyypisovellus täyttää tämän yleisohjeen vaatimukset.

Toisen yleisohjeen mukaan tutkimuksen ongelman on oltava relevantti tutkimuksen kohdeyleisön kannalta (Hevner et al. 2004, s. 10). Tässä tutkimuksessa käsitellään kohdeyrityksen ydinliiketoimintaan sisältyvän tuotteen parantamista ja lisäarvon tuottamista, joten tutkimus on kohdeyrityksen kannalta relevantti.

Kolmannen yleisohjeen mukaan artefaktin käyttökelpoisuus, laatu sekä vaikutus on evaluoitava tarkasti (Hevner et al. 2004, s. 11). Suunnittelutieteellistä tutkimusta voidaan evaluoida teknisestä tai sosioteknisestä näkökulmasta. Teknisessä evaluaatiossa käytetään yleensä esimerkiksi mittausta, analyysiä tai simulaatiota. Sosioteknisessä evaluaatiossa käytetään yleensä pohjana kvantitatiivisia kyselyitä tai kvalitatiivisia haastatteluja. (Hevner & Chatterjee 2010, s. 119) Tässä työssä käytetään sekä teknisestä mittauksesta ja kyselyistä saatavaa numeerista, kvantitatiivista dataa että haastatteluiden avulla

kerättävää kvalitatiivista dataa. Evaluaatiomenetelmiä käsitellään tarkemmin luvussa 4.3.

Neljännän yleisohjeen mukaan tutkimuksesta pitää muodostua jonkinlainen tieteellinen kontribuutio. Kontribuutio voi olla itse artefakti, tietämys artefaktin rakenteesta tai tietämys siitä, miten artefaktia voidaan evaluoida. (Hevner et al. 2004, s. 13) Tämän tutkimuksen kontribuutio sisältää jossain määrin kaikki kolme kontribuutiomuotoa, sillä prototyypin rakentaminen ja sen evaluointi täyttää implisiittisesti kaikki kolme edellä mainittua ehtoa. Kuitenkin tutkimuksen pääkontribuutioon on itse artefakti eli prototyyppi-sovellus.

Viides yleisohje ohjaa tutkimusta yleisellä tasolla. Sen mukaan sekä artefaktin rakentaminen että sen evaluaatio on suoritettava käyttäen tarkasti määrättyjä menetelmiä (Hevner et al. 2004, s. 13). Tässä työssä artefaktin rakentamisessa noudatetaan ohjelmistotuotannon menetelmiä niin hyvin kuin mahdollista riskeeraamatta artefaktin valmistamista ajallaan. Evaluaatio suoritetaan käyttäen pääosin kvalitatiivisia menetelmiä, joista saatavat tulokset pyritään validoimaan tutkimusryhmän avulla.

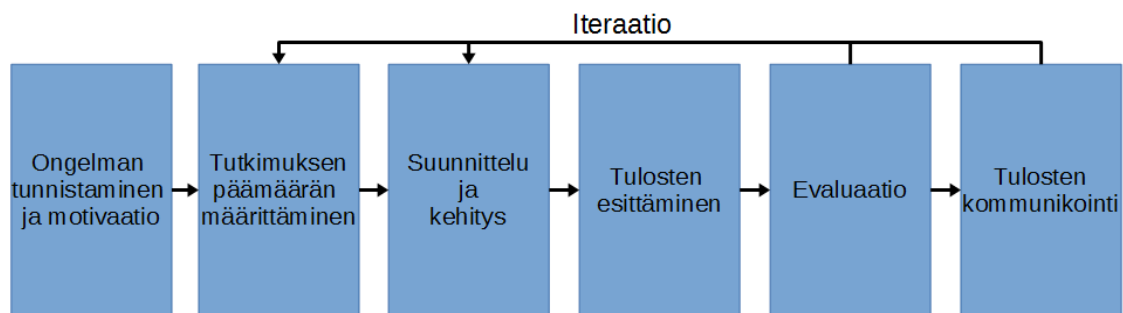
Kuudennessa yleisohjeessa kehoitetaan artefaktin parantamista mahdollisimman tehokkaaksi ongelmakentän sisällä käyttäen iteratiivista kehitystä (Hevner et al. 2004, s. 14). Tässä työssä toteutettava prototyyppi on tarkoitus kehittää iteratiivisesti, joka käytännössä ohjelmistoteknisestä näkökulmasta tarkoittaa ketterän kehityksen mallia. Ketterän kehityksen mallissa ohjelmisto määritellään ja kehitetään lyhyissä inkrementeissä yhteistyössä asiakkaan kanssa (Abrahamsson et al. 2002, s. 17).

Seitsemännen eli viimeisen yleisohjeen mukaan tutkimuksen tulokset on esitettävä niin, että sekä teknisesti että liiketoiminnallisesti orientoituneet henkilöt voivat ymmärtää lopputuloksen. Tällä pyritään siihen, että teknisesti orientoituneet henkilöt voivat mahdollisesti uusia tutkimuksen teknisen osan tai tehdä lisätutkimusta aiheesta. Toisaalta, liiketoiminnallisesti orientoituneiden henkilöiden on tärkeä ymmärtää, millä tavoin tuloksia on mahdollista soveltaa yrityksen liiketoimintaympäristöön. (Hevner et al. 2004, s. 16) Tässä tutkimuksessa rakennettava prototyyppisovellus ja sen rakenne kuvataan luvussa 4 sellaisella tasolla, että teknisesti orientoitunut henkilö voi sen perusteella uusia tutkimuksen tai tehdä lisätutkimusta aiheesta. Luvussa 5 pyritään esittämään tutkimustulokset siten, että ne ovat ymmärrettäviä sekä teknisesti että liiketoiminnallisesti orientoituneille henkilöille.

### **1.3.2 Suunnittelutieteellinen tutkimusmenetelmä**

Hevner & Chatterjee (2010, ss. 23–31) listaavat neljä erilaista menetelmää suunnittelutieteellisen tutkimuksen toteuttamiseen: systeemitutkimus (engl. systems development

in information systems research), yleinen suunnittelusykli (engl. general design cycle), toimintatutkimus (engl. action research framework) sekä suunnittelutieteellinen tutkimusmenetelmä (engl. design science research methodology). Vaikka kaikki edellä mainitut menetelmät on mahdollista sovittaa tämän tutkimuksen aihealueeseen ja tutkimusongelmaan, on tässä tutkimuksessa käytetty viimeisintä eli suunnittelutieteellistä tutkimusmenetelmää sen helposti ymmärrettävän ohjeistuksen vuoksi.



**Kuva 1.** Suunnittelutieteellisen tutkimusmenetelmän toiminnot (mukaihen Peffers et al. 2007)

Peffersin et al. (2007) kehittämä suunnittelutieteellinen tutkimusmenetelmä jakaa tutkimusprosessin kuuteen toimintoon: ongelman tunnistaminen ja motivaatio, tutkimuksen päämäärän määrittäminen, suunnittelu ja kehitys, tulosten esittäminen, evaluaatio ja tulosten kommunikointi. Prosessi ei kuitenkaan ole lineaarinen vaan tutkimuksen edetessä sitä iteroidaan palaten tarvittaessa taakse päin tekemään parannuksia edellisiin toimintoihin. Tutkimusmenetelmän prosessin rakenne on esitetty kuvassa 1.

## 1.4 Tutkimuksen rakenne

Olkkonen (1993, s. 113) määrittelee tutkimuslöstuksen perusrakenteen, johon kuuluvat johdanto, teoriakehikko, tutkimusmenetelmät, aineisto, tulokset, tulosten tulkinta sekä tutkimuksen tarkastelu. Tätä rakennetta noudatetaan myös tässä työssä. Työ jakautuu korkealla tasolla kolmeen osaan: johdanto, teoria sekä empiirinen tutkimus.

Johdannon jälkeen työssä on teoriaosio, joka jakautuu lukuihin 2 ja 3. Ensin luvussa 2 tutustutaan lisätyn todellisuuden määritelmiin ja tekniikoihin sekä käsitellään teollisuusympäristöön soveltuvan älylasisovelluksen käyttökohteita. Tämän jälkeen luvussa 3 käsitellään älylasisovelluksen toteutustekniikoita korkealla tasolla sekä esitellään kirjallisuudesta löytyviä teollisuusympäristöön liittyviä haasteita.

Työn empiirinen osio kattaa luvut 4-6. Ensin luvussa 4 esitellään tutkimuskonteksti eli kuvataan nosturioperaattorin työtä ja toimintaympäristöä. Seuraavaksi esitellään tutkimuksen artefaktin eli rakennetun prototyyppisovelluksen toiminnalliset ominaisuudet käyttäjän näkökulmasta. Sovelluksesta esitellään myös sen tekninen toteutus eli toteutukseen käytetty laitteisto, ohjelmistot ja ohjelmistokirjastot sekä korkean tason ohjelmistoarkkitehtuuri. Tämän jälkeen esitetään kuinka sovelluksen tuomia hyötyjä evaluoidaan. Luvussa 5 esitellään tutkimustulokset. Lopuksi luvussa 6 esitellään yhteenveto tutkimuksesta, arvioidaan kuinka se onnistui vastaamaan tutkimuskysymyksiin sekä esitetään relevantteja jatkotutkimusaiheita.

## 2 LISÄTTY TODELLISUUS

Tässä luvussa esitellään ensin lisätyn todellisuuden yleinen määritelmä sekä käydään läpi kirjallisuudessa esiintyviä tarkentavia määritelmiä. Näistä muodostetaan tässä työssä käytettävä määritelmä ja rajaus lisätyn todellisuuden käsitteen osalta. Tämän jälkeen esitellään lisätyn todellisuuden prosessi ja sen vaiheet. Sitten luodaan katsaus lisätyn todellisuuden käyttökohteisiin teollisuudessa. Lopuksi pyritään käyttökohteiden esittelyn pohjalta vastaamaan seuraaviin alatutkimuskysymyksiin nosturioperaattorin näkökulmasta:

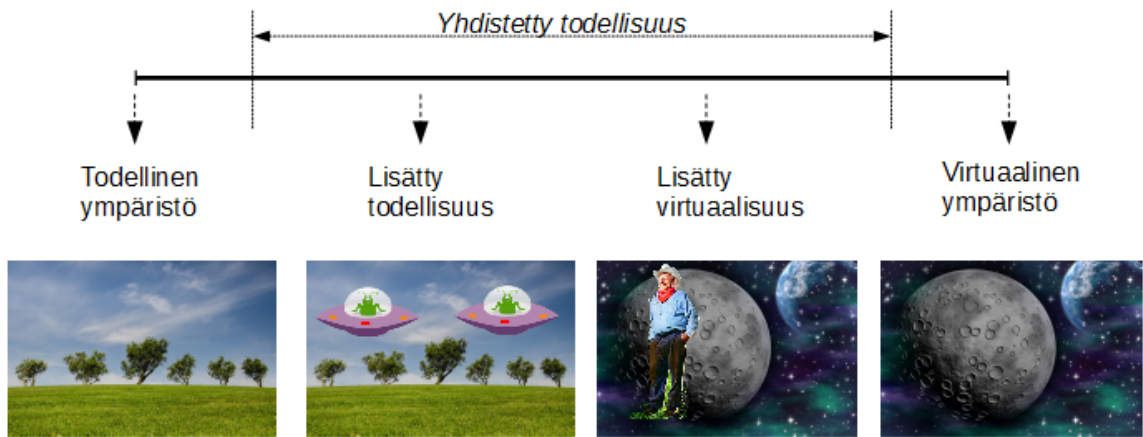
- Millaisia turvallisuushyötyjä sovelluksen avulla voidaan saavuttaa?
- Millaisia käyttömukavuushyötyjä sovelluksen avulla voidaan saavuttaa?

### 2.1 Määritelmä

Yleisesti määriteltynä lisätyllä todellisuudella tarkoitetaan ihmisen aistiman todellisen ympäristön muuntamista tietokonegeneroidun informaation avulla (Milgram & Kishino 1994). Huolimatta määritelmän teknisestä luonteesta sitä ei ole sidottu mihinkään tiettyyn teknologiaan, ja lisätty todellisuus voidaankin näin ollen mieltää mediana eli tiedonsiirtotapana ihmisten ja ympäristön välillä (Craig 2013, s. 1). Käsite lisätty todellisuus pitää sisällään ihmisen kaikkien viiden aistin (näkö-, kuulo-, kosketus-, hajua- ja maku-) muuntamisen. Tällä hetkellä suurin käyttöalue on visuaalisten aistimuksien eli ihmisen näköaistin muuntaminen, joskin esimerkkejä muidenkin aistien osalta löytyy (Narumi et al. 2010; Yoshimoto et al. 2010; Blum et al. 2012). Tässä työssä käsitellään lisättyä todellisuutta pääasiallisesti näköaistin kannalta.

Lisätty todellisuus liittyy läheisesti virtuaalitodellisuuden käsitteeseen: Virtuaalitodellisuudella tarkoitetaan tilannetta, jossa yhtä tai useampaa ihmisen aisteista ohjataan siten, että ihminen käsittää olevansa jossain synteettisessä ja virtuaalisessa ympäristössä todellisen ympäristönsä sijaan (Latta & Oberg 1994, ss. 3–4). Virtuaalisen ja todellisen ympäristön suhteita kuvaa kuvassa 2 esitetty todellisuus–virtuaalisuus-jatkumo. Jatkumon ääripäät ovat todellinen ympäristö sekä virtuaalinen ympäristö, joiden välille sijoittuu näiden välimuoto yhdistetty todellisuus (engl. mixed reality). Yhdistetty todellisuus jakautuu lisätyyn todellisuuteen sekä lisätyyn virtuaalisuuteen. Lisätty todellisuus tarkoittaa tällöin virtuaalisten elementtien lisäämistä todelliseen ympäristöön, kun taas lisätty virtuaalisuus tarkoittaa todellisten elementtien lisäämistä virtuaaliseen ympäristöön. (Milgram et al. 1995, s. 2)

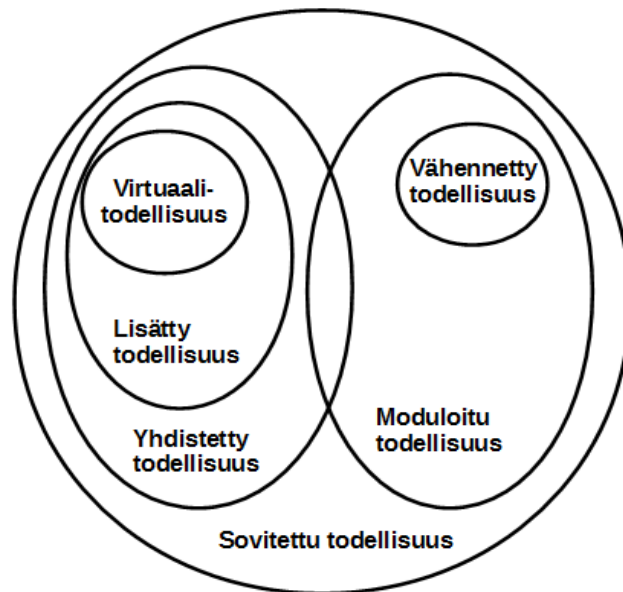




Todellisuus–virtuaalisuus-jatkumo

**Kuva 2.** Milgramin todellisuus–virtuaalisuus-jatkumo (mukaihen Milgram et al. 1995, s. 3)

Mann (1994) on laajentanut todellisuus–virtuaalisuus-jatkumoa lisäämällä siihen uuden ulottuvuuden ja kutsuu kokonaiskäsitettä sovitetuksi todellisuudeksi (engl. mediated reality). Kuvassa 3 on esitetty sovitetun todellisuuden käsite, joka pitää sisällään yhdistetyn todellisuuden lisäksi moduloidun todellisuuden (engl. modulated reality) käsitteen. Moduloinnilla tarkoitetaan todellisuuden muokkaamista, kuten esimerkiksi näkökentän vääristämistä tai osien poistamista. Osien poistamista näkökentästä kutsutaan myös termillä vähennetty todellisuus (engl. diminished reality). Tästä määritelmästä poiketen Azuma et al. (2001, s. 1) sen sijaan pitävät vähennettyä todellisuutta yksinkertaisesti lisätyn todellisuuden alakäsitteenä.



**Kuva 3.** Sovitetun todellisuuden osat (mukaiillen Mann 2002)

Tutkimusalan nuoruuden ja jatkuvan muutoksen vuoksi kirjallisuudessa esiintyy erilaisia tarkentavia määritelmiä käsitteelle. Eräs paljon käytetty määritelmä sisältää kolme vaatimusta (Azuma 1997, s. 2):

1. Yhdistää todellisen ja virtuaalisen informaation
2. On interaktiivinen reaaliajassa
3. Rekisteröinti tapahtuu kolmiulotteisessa ympäristössä

Tämän määritelmän mukaan lisätyllä todellisuudella tarkoitetaan ihmisen aistiman todellisen ympäristön muuntamista sinne lisättyjen virtuaalisten elementtien avulla. Näiden virtuaalisten elementtien sijoittuminen todelliseen ympäristöön on riippuvainen ihmisen sijainnista sekä orientaatiosta todellisessa ympäristössä. Näin ollen uskottavan vaikutelman saavuttamiseksi elementtien on myös reagoitava sijainnin ja orientaation muutoksiin reaaliaikaisesti. (Craig 2013, s. 16) Kuitenkaan monet sovellukset, jotka voidaan lukea lisätyn todellisuuden sovelluksiksi, eivät välttämättä täytä näitä kolmea ominaisuutta (Lindegger 2013, s. 1; Santos et al. 2014, s. 2).

Robert Rice käyttää huomattavasti löyhempää määrittelyä ja kertoo lisätyn todellisuuden olevan mitä tahansa mikä lisää tai muuntaa ihmisen aistimaa todellisuutta tietyssä paikassa ja tietyssä kontekstissa (Shute 2009). Specht et. al (2011, s. 2) määrittävät lisätyn todellisuuden muuttavan henkilön ensisijaisia aisteja (näkö-, kuulo- ja tunto-) virtuaalisella tai luonnollisesti näkymättömällä informaatiolla, joka tuodaan esiin digitaalisin keinoin.

Yksiselitteisen määritelmän puuttumisen vuoksi voidaan asiaa tutkia myös toteutettujen lisätyn todellisuuden *sovellusten* näkökulmasta. Tällä tavoin voidaan selvittää, millaisia ominaisuuksia käsitteeseen yleisesti mielletään. Suoraviivaisin tapa on tutkia kirjallisuudesta löytyviä sovellusten taksonomioita eli luokittelutapoja. Luokitteluun käytetään sovellusten ominaisuuksia, joten listaamalla ne saadaan selville ominaisuuksien joukko sekä raja-arvot tai kategoriat, joilla näitä ominaisuuksia yleisesti kuvataan. Näiden raja-arvojen ja kategorioiden avulla voidaan selvittää, millaiset sovellukset kirjallisuudessa mielletään lisätyn todellisuuden sovelluksiksi.

**Taulukko 1:** Lisätyn todellisuuden taksonomioissa käytetyt ominaisuudet

Ominaisuus	Raja-arvot / Kategoriat
<b>Ympäristö</b>	
Sovelluksen tietoisuus ympäröivästä maailmasta (Milgram & Kishino 1994; Milgram et al. 1995)	vähäinen – suuri
Käyttäjän tunne ympäristön aitoudesta (Milgram & Kishino 1994; Milgram et al. 1995)	vähäinen – suuri
Todellisuus-virtuaalisuus jatkumo (Milgram et al. 1995)	todellisuus – virtuaalisuus
Ympäristön kuvaus (Hugues et al. 2011)	tulevaisuus, menneisyys, kuvitteellinen
<b>Näkökenttä</b>	
Liikuteltavuus (Wang & Dunston 2006)	staattinen – liikuteltava
Käyttäjämäärä (Wang & Dunston 2006)	yksi – useampi
Näytön keskeisyys (Milgram et al. 1995; Suomela & Lehtikoinen 2004; Tönnis & Plecher 2011)	käyttäjakeskeinen – käyttäjän ulkopuolinen
Näkökentän reagoiminen ohjaukseen (Milgram et al. 1995)	vähäinen – luonnollista vastaava
<b>Virtuaaliset elementit</b>	
Informaation näkyvyys (Tönnis & Plecher 2011)	väliaikainen – jatkuva
Kolmiulotteisten virtuaalisten elementtien laatu (Milgram & Kishino 1994; Milgram et al. 1995)	rautalankamalli – fotorealistinen 3D-malli
Virtuaalisten elementtien ulottuvuus (Tönnis & Plecher 2011)	2-ulotteinen, 3-ulotteinen
Viittaukset (Tönnis & Plecher 2011)	suoraan näkyvillä – näkökentän ulkopuolella (näkökentässä viittaus ulkopuolella olevaan objektiin)
Asemointi (Tönnis & Plecher 2011)	pään mukaan, käden mukaan,

	sidoksissa johonkin todelliseen objektiin, leijuvat ympäristössä
Muokkauksen kohde (Normand & Moreau 2012)	käyttäjä, fyysinen objekti, käyttäjän ja objektin ympäristö
Rekisteröinti reaali maailman suhteen (Hugues et al. 2011; Suomela & Lehtikoinen 2004; Tönnis & Plecher 2011; Normand & Moreau 2012; Schwerdtfeger et al. 2006)	0-ulotteinen (ei rekisteröintiä) – 3-ulotteinen
<b>Muut</b>	
Seurantatapa (Normand & Moreau 2012)	seurantamerkit, sensorit
Kohdistettu aisti (Normand & Moreau 2012)	näkö, kuulo, tunto, maku, haju
Laitteisto (Normand & Moreau 2012; Schwerdtfeger et al. 2006)	älylasit, mobiililaitte, spatiaalinen

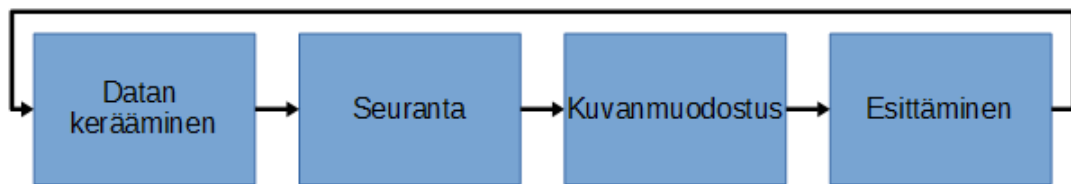
Taulukossa 1 on jaettu kirjallisuudesta löytyvistä taksonomioista löytyvät luokitteluperusteet neljään ryhmään sen mukaan mitä osa-aluetta ne koskevat. Vertailtaessa taulukon ominaisuuksia edellä esitettyyn Azuman (1997, s. 2) määritelmään, voidaan huomata, että taulukossa esiintyy ominaisuuksia, jotka eivät täytä määritelmän kolmatta vaatimusta. Erityisen suoraan kolmatta vaatimusta vastaan on useassa lähteessä esiintyvä ominaisuus ”Rekisteröinti reaali maailman suhteen”, jonka raja-arvojen mukaan rekisteröintiä reaali maailman suhteen ei välttämättä tarvitse tapahtua lainkaan. Robert Ricen (Shute 2009) määritelmä sen sijaan on niin löyhä, että se kattaa kaikki taulukossa esitetyt ominaisuudet. Specht et al. (2011, s. 2) esittämä määritelmä on muutoin kattava, mutta se jättää tarkoituksellisesti huomiotta toissijaisiksi nimeämensä aistit, maun ja haju.

Tässä työssä käytettävä määritelmä vastaa pitkälti yhdistelmää Azuman ja Spechtin et al. määritelmistä. Azuman määritelmää noudatetaan kohtien 1 ja 2 osalta, eli lisätty todellisuus yhdistää todellisen ja virtuaalisen informaation reaali ajassa. Kohtaa 3 ei oteta rajaamaan käsitettä vaan käytetään taksonomioista löytynyttä ominaisuutta, jonka mukaan virtuaalisten elementtien ei välttämättä tarvitse olla rekisteröityjä reaali maailman suhteen. Koska tässä työssä lisättyä todellisuutta käsitellään visuaalisesta näkökulmasta, rajataan käsite kattamaan vain näköaistin muuntamisen, jolloin Spechtin et al. määritelmästä ei oteta mukaan kuulo- ja tuntoaisteja. Käytännössä tässä työssä käytettävä määritelmä täyttää myös Ricen määritelmän.

## 2.2 Lisätyn todellisuuden prosessi

Lisätyn todellisuuden prosessi sovellusten näkökulmasta on korkealla tasolla tarkasteltuna kaksivaiheinen: Sovelluksen täytyy selvittää todellisen sekä virtuaalisen ympäris-

tön senhetkinen tila, jonka jälkeen virtuaalisen ympäristön elementit näytetään käyttäjälle niin, että ne tuntuvat osalta todellista ympäristöä (Craig 2013, s. 39). Siltanen (2012, s. 20) tarkentaa määritelmää ja jakaa prosessin neljään vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa siirretään kameralta saatu kuva todellisesta maailmasta sovelluksen prosessoitavaksi. Tämän jälkeen tulevassa seurantavaiheessa lasketaan virtuaalisille elementeille oikeat asennot. Seuraavaksi muodostetaan virtuaaliset elementit sisältämä kuva, joka lopuksi esitetään näyttölaitteella. Seurantavaihe voidaan kuitenkin tehdä kamerasen lisäksi myös erilaisten sensoreiden avulla (Grubert & Grasset 2013, s. 14).



**Kuva 4.** Lisätyn todellisuuden prosessi

Tässä työssä käytettävä prosessi vastaa pitkälti Siltasen nelivaiheista määritelmää lisätynä Grubertin & Grassetin huomiolla myös muiden sensoreiden kuin kamerakuvan käyttämisestä. Prosessin vaiheet ja niiden riippuvuudet on esitelty kuvassa 4. Prosessi on iteratiivinen eli se alkaa aina alusta kun viimeinen vaihe on saatu päätökseen (Grubert & Grasset 2013, s. 13). Prosessin yhdelle iteraatiolle on asetettava tehokkuusvaatimuksia, mikäli sovelluksen virtuaalisten elementtien halutaan päivittyvän sulavasti todellisen ympäristön suhteen. Sulavan liikkeen ylläpitämiseksi ruudunpäivitysnopeuden on oltava käytännössä vähintään 15 kuvaa sekunnissa, mutta mieluiten enemmän (Craig 2013, s. 52).

### 2.2.1 Datan kerääminen

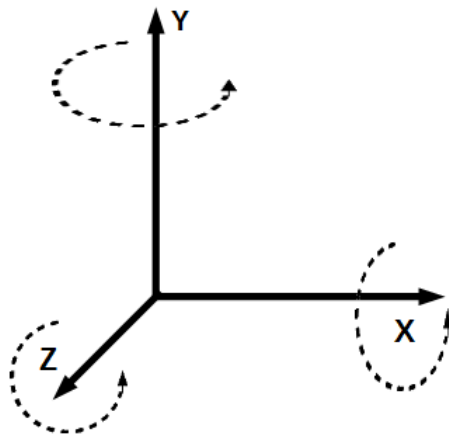
Lisätyn todellisuuden prosessin ensimmäisessä vaiheessa kerätään ympäristöstä dataa, jonka ensisijaisena tarkoituksena on toimia lähteenä seurantavaiheelle. Datan toissijaisena käyttötarkoituksena on mahdollisuus käyttää sitä esitysvaiheessa, mikäli kerätty data on kyseessä olevalle sovellukselle relevanttia. Esimerkiksi veneilysovelluksessa kerättyä GPS-koordinaattidataa voidaan esittää käyttäjälle.

Yleisimmin käytettävät datalähteet voidaan jakaa karkeasti optisiin ja sensoreihin perustuviin datalähteisiin, joita voidaan käyttää seurantavaiheessa. Tämän lisäksi dataa kerätään käyttäjän antamista komennoista, joita käytetään sovelluksen ohjaamiseen. Optisilla datalähteillä tarkoitetaan kamerakuvaa, joka saadaan digitaalikamerasta tai infrapuna-

kamerasta. Useimmin käytettyjä sensoridatalähteitä ovat esimerkiksi GPS, kiihtyvyyssanturi, magnetometri sekä gyroskooppi. (Craig 2013, ss. 40–51)

### 2.2.2 Seuranta

Seurantavaiheessa pyritään reaaliaikaisesti selvittämään kerätyn datan avulla datalähteenä toimivan laitteiston asento eli sijainti ja orientaatio todellisessa ympäristössä. Näiden arvojen perusteella luodaan sovelluksessa käyttäjän senhetkistä näkymää todellisessa ympäristössä vastaava virtuaalikamera. Virtuaalikameran avulla sovelluksen virtuaaliset elementit voidaan asemoida oikein todellisen ympäristön suhteen. Virtuaalikameran asennon selvittämiseksi tarvitaan laitteiston asentoa koskevat arvot kolmiulotteisessa avaruudessa jokaisessa liikkeen kuudessa vapausasteista. (Siltanen 2012, ss. 20–21) Kuvassa 5 esitetyt liikkeen kuusi vapausastetta ovat sijainnin osalta x-, y- ja z-koordinaatit sekä orientaation osalta kiertyminen x-, y- ja z-akseleiden ympäri.

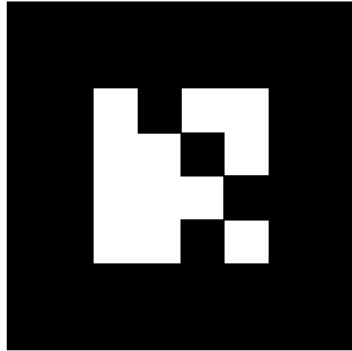


**Kuva 5.** Liikkeen kuusi vapausastetta

Seuranta toteutetaan sovelluksessa optisena tai sensoreihin perustuvana riippuen edellisessä vaiheessa kerätyn datan tyypistä. Nämä kaksi seurantatapaa on myös mahdollista yhdistää niin sanotuksi hybridiseurannaksi, jolloin voidaan päästä tarkempaan lopputulokseen. (Craig 2013, s. 259)

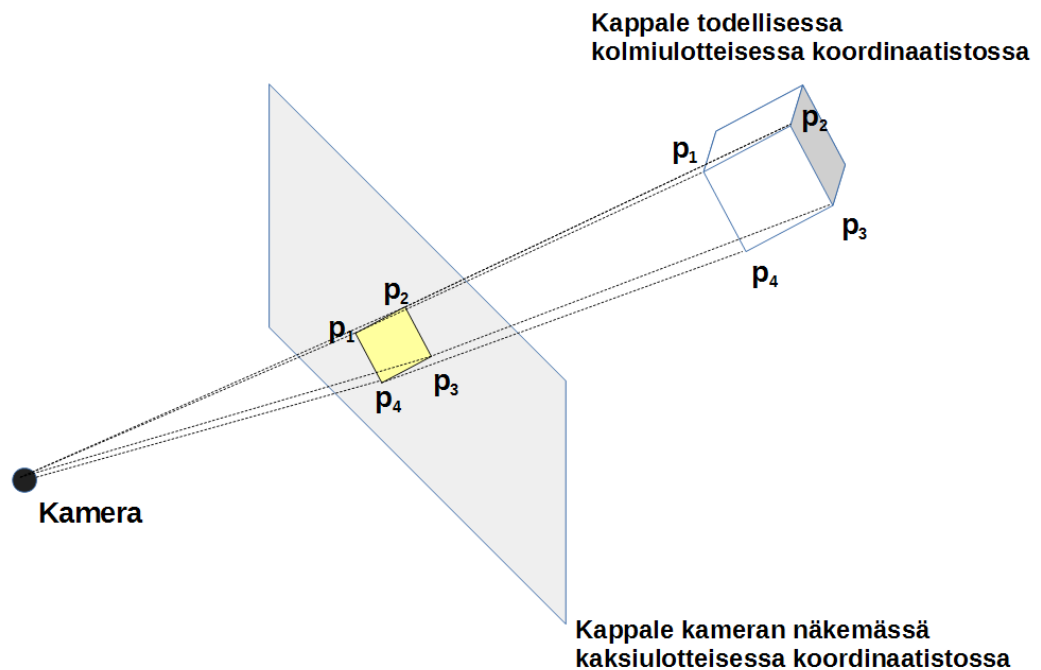
Optinen seuranta perustuu kerätyn kameradatan analysointiin konenäön avulla. Optisessa seurannassa on tarkoituksena saada selville laitteiston *suhteellinen* sijainti ja orientaatio johonkin sovelluksen tuntemaan ankkuripisteeseen ankkuripisteen avaruudessa (Siltanen 2012, s. 38; Craig 2013, s. 41). Seuranta voidaan toteuttaa seurantamerkkien (engl. marker-based) avulla tai seuraamalla kuvasta löytyviä muotoja (engl. feature-based). Seurantamerkkitekniikassa kameran kuvasta yritetään paikantaa ympäristöön sijoitettuja sovelluksen tuntemia kaksiulotteisia seurantamerkkejä. Merkit ovat useimmiten neliön muotoisia ja niihin on koodattu pieni määrä dataa. Kuvassa 6 on esimerkki kaksi-

ulotteisesta seurantamerkistä. Seurantamerkittömässä tekniikassa yritetään paikantaa kuvasta erilaisia sovelluksen tuntemia luonnollisia muotoja kuten pistepilviä tai geometristen muotojen reunoja.



**Kuva 6.** Kaksiulotteinen seurantamerkki

Sekä seurantamerkkitekniikassa että seurantamerkittömässä tekniikassa asennon laskeminen tunnistetun merkin tai muodon avulla tapahtuu projisoimalla se kaksiulotteisesta koordinaatistosta kolmiulotteiseksi käyttäen hyväksi kameran tunnettuja sisäisiä (engl. intrinsic parameters) ja ulkoisia (engl. extrinsic parameters) parametrejä. Tällä tavoin saadaan tietää laitteiston suhteellinen sijainti, jonka avulla voidaan asemoida sovelluksen sisäinen virtuaalikamera sitä vastaavaksi. (Siltanen 2012) Periaatekuva projisoinnista on esitetty kuvassa 7.



**Kuva 7.** Periaatekuva sijainnin ja orientaation projisoinnista

Mikäli sovelluksessa käytetään vain optista seuranta, ongelmaksi muodostuu seurannan pysähtyminen mikäli tunnistettu merkki tai muoto häviää näkökentästä. Tähän ongelmaan ratkaisuna on alun perin robotiikan tutkimusalueella kehitetty SLAM (simultaneous localization and mapping) ja tästä johdettu, enemmän lisätyn todellisuuden ja nykyisen prosessoritekniiikan tarpeisiin soveltuva, PTAM (parallel tracking and mapping) (Klein & Murray 2007, s. 1). Näiden tekniikoiden avulla voidaan toteuttaa laajennettua seuranta (engl. extensible tracking), joka mahdollistaa seurannan jatkumisen vaikka tunnistettu merkki tai muoto häviää näkökentästä (Siltanen 2012, s. 101). Tekniikan toiminta perustuu ympäristön jatkuvaan kartoitukseen konenäön avulla, joka muodostaa ja päivittää pistepilviin perustuvaa kolmiulotteista karttaa reaaliaikaisesti. Kartoituksen aloituspisteenä toimii sovelluksen paikantama merkki tai muoto. Merkin tai muodon hävitessä näkökentästä sovellus on kuitenkin edelleen tietoinen merkin tai muodon ympäristön muodoista. Sovellus myös tietää näiden ympäristön muotojen suhteellisen sijainnin ja orientaation kartoituksen alkupisteeseen nähden, joten myös laitteiston sijainnin ja orientaation selvittäminen on mahdollista. (Klein & Murray 2007; Leonard & Durrant-Whyte 1991)

Sensoriseurannassa tarkoituksena on saada selville laitteiston *absoluuttinen* sijainti ja orientaatio tunnetussa avaruudessa (Craig 2013, s. 41). Sijainnin selvittämiseen voidaan käyttää ulkotiloissa satelliittipaikannusta (esim. GPS tai GLONASS) ja rakennusten si-



sällä sisätalopaikannusta. Orientaation selvittämiseen käytetään kiihtyvyyssanturia, magnetometriä sekä gyroskooppia. Kuluttajahinnoiteltuja laitteita käytettäessä pelkästään sensoreihin perustuva seuranta ei yleensä ole sensoreiden epätarkkuuden vuoksi kovin tarkkaa (Grubert & Grasset 2013, s. 59). Kuitenkin vaikka tällaisilla sensoreilla saatavan sijainnin virhemarginaali voi olla jopa kymmenien metrien luokkaa, soveltuu tarkkuus hyvin esimerkiksi karttasovelluksiin, joiden tarkoituksena on näyttää tietoja ympäristössä sijaitsevista kiinnostavista kohteista (Normand & Moreau 2012, s. 4).

### 2.2.3 Kuvanmuodostus

Kuvanmuodostusvaiheessa (engl. rendering) virtuaaliset objektit sijoitetaan käyttäjän näkökenttään edellisissä vaiheissa selvitetyn virtuaalikameran sijainnin ja orientaation perusteella. Yksinkertaisimmillaan virtuaaliobjektit voidaan sijoittaa suoraan todellisen ympäristön päälle ilman lisäprosessointia. Mikäli illuusiota virtuaalisten objektien sijainnista *osana* todellista ympäristöä halutaan parantaa, täytyy kuvanmuodostuksessa ottaa huomioon myös ihmissilmän rekisteröimät syvyysvihjeet kuten okluusio, valonlähteet, sekä videokuvan epätarkkuudet (Siltanen 2012, ss. 105–113; Grubert & Grasset 2013, s. 111).

Okluusionkäsittelyllä (engl. occlusion handling) tarkoitetaan todellisten ja virtuaalisten objektien peittävyttä toistensa suhteen. Kuvassa 8 on esitetty väärin ja oikein toimiva okluusionkäsittely. Okluusion määrittäminen normaalista digitaalikameran kaksikulotteisesta kuvasta on konenäön keinoin hankalaa, joten apuna voidaan käyttää syvyysensoria (engl. depth sensor), jonka avulla pystytään määrittämään todellisten objektien etäisyys laitteistosta (Siltanen 2012, ss. 129–130). Etäisyyksien perusteella voidaan virtuaalinen objekti piirtää siten, että todellisen objektin peittäessä sen kokonaan tai osittain jätetään peittyneet osat piirtämättä (Grubert & Grasset 2013, s. 112).



**Kuva 8.** Väärin ja oikein toimiva okluusionkäsittely

Valonlähteiden huomioon ottamisella pyritään virtuaalisia objekteja valaisemaan samalla valaistuksella kuin todellisessa ympäristössä eli varjojen ja heijastusten kuvaamista todellista ympäristöä vastaavasti. Valonlähteet tai niiden muodostamat varjot voivat todellisen ympäristön lisäksi esiintyä myös virtuaalisessa ympäristössä, jolloin laskenta pitää tehdä toisin päin. (Siltanen 2012, ss. 110–111) Grubert & Grasset (2013, s. 111) korostavat, että modernin tietokonegrafiikan alan algoritmien avulla lopullisten valaistusarvojen laskeminen ei muodostu ongelmaksi kummassakaan tapauksessa, vaan haasteena on selvittää todellisen ympäristön valonlähteiden parametrit, joilla valaistusarvot lasketaan ja tehdään lopulta kuvanmuodostus. Todellisen ympäristön valonlähteiden mittaaminen on kuitenkin mahdollista tehdä esimerkiksi fotodiodien (Matsuoka et al. 2002, s. 1) tai heijastavan esineen avulla (Kanbara & Yokoya 2004).

Mikäli sovellus perustuu käyttäjälle näytettävään videokuvaan, johon virtuaaliset objektit sijoitetaan, on syytä ottaa huomioon kamerasta videokuvaan siirtyvät epätarkkuudet kuten liike-epäterävyys (engl. motion blur) ja fokuointi. Näiden epätarkkuuksien huomiotta jättäminen aiheuttaa virtuaalisten objektien näkymisen tarkkana ja sitä vastoin todellista ympäristöä kuvaavan videokuvan näkymisen epätarkkana, jolloin illuusio virtuaalisten objektien sijoittumisesta ympäristöön heikentyy ja ne näyttävät päälle liimautilta. (Siltanen 2012, ss. 112–113) Ongelma voidaan ratkaista arvioimalla kameras kuvan perusteella epätarkkuuksien määrää ja lisäämällä virtuaaliseen komponenttiin samat epätarkkuudet. Ratkaisun haittapuolena on prosessointitehon lisätarve. (Okumura et al. 2006, s. 6)

#### **2.2.4 Esittäminen**

Viimeisessä vaiheessa virtuaaliset elementit esitetään sovelluksen käyttäjälle. Esityslaitteistot voidaan jakaa kolmeen pääryhmään: päässä pidettävät näytöt (engl. head mounted display), kädessä pidettävät näytöt (engl. hand held display) sekä spatiaaliset näytöt (engl. spatial display) (Furht 2011, ss. 9–11).

Kussakin pääryhmässä käytetään erilaisia näyttötekniikoita, jotka soveltuvat eri olosuhteisiin. Valon läpi päästävän optisen näytön (engl. optical see-through) ollessa kyseessä käyttäjä näkee näytön läpi, jolloin sovelluksen on piirrettävä näyttöön vain halutut virtuaaliset objektit ilman ympäristöä. Sitä vastoin valon läpipääsyn estävässä videonäytössä (engl. video see-through) käyttäjä ei näe suoraan ympäristöään vaan näytölle piirretään reaaliaikaisesti videokuva ympäristöstä, jonka päälle virtuaaliset elementit piirretään. Suoralisäysnäytöissä (engl. direct augmentation) virtuaaliset elementit heijastetaan suoraan todellisen ympäristön päälle esimerkiksi videoprojektorin avulla. (Craig 2013, ss. 91–99)

Päässä pidettävillä näytöillä tarkoitetaan silmien eteen tulevaa näyttöä eli älylaseja. Näyttö voi olla vain yhdelle silmälle näkyvä monokkeli tai kummallekin silmälle näkyvät silmälasit. Päässä pidettävissä näytöissä voidaan käyttää joko optista- tai videonäyttötekniikkaa (Craig 2013, s. 114).

Kädessä pidettävät näytöt ovat mobiililaitteita, kuten älypuhelimet tai tablet-tietokoneet ja niissä käytetään yleensä videonäyttötekniikkaa. Mobiililaitteiden yleisyyden vuoksi kädessä pidettävä näyttö on yleisin esityslaitteisto lisätyn todellisuuden sovelluksissa. (Furht 2011, s. 10)

Toisin kuin kahdessa muussa esityslaitteistossa, joissa näyttölaite on ensisijaisesti käyttäjän hallinnassa, spatiaalisessa esitystavassa näyttölaite upotetaan osaksi ympäristöä. Näyttötekniikkana voidaan käyttää optista näyttöä, videonäyttöä tai suoralisäystä. Optiset näytöt sekä videonäytöt toimivat samalla periaatteella kuin muissakin esitystekniikoissa, joskin niiden suurempi koko helpottaa usean ihmisen yhtäaikaista sovelluksen käyttämistä. (Furht 2011, s. 11) Suoralisäysnäyttönä voidaan käyttää pienikokoista mobiiliprojektorin, jolloin virtuaaliset elementit ovat pääsääntöisesti tarkoitettu yksittäiselle käyttäjälle. Yleisempi tapa on kuitenkin käyttää suurempikokoista videoprojektorin, jolloin sovellusta voi käyttää useampi henkilö. (Kalkofen et al. 2011, ss. 10–11)

### **2.3 Käyttökohteet teollisuudessa**

Nykypäivänä suurin lisätyn todellisuuden käyttökohde on erilaiset kuluttajille suunnatut sovellukset (Craig 2013, s. 255). Kuitenkin ensimmäinen lisätyn todellisuuden sovellus on kehitetty työskentelyn avuksi (Caudell & Mizell 1992). Lisätyn todellisuuden käyttämistä työskentelyn apuna koskevia tutkimuksia ja prototyyppejä on tehty runsaasti, mutta vain harva niistä on päätenyt varsinaiseen tuotantokäyttöön (Fite-Georgel 2011, s. 1; Nee et al. 2012, s. 1). Pääosa kirjallisuudesta löytyvistä esimerkkisovelluksista pyrkii parantamaan yksittäisen työntekijän turvallisuutta, nopeutta ja työ mukavuutta päässä tai kädessä pidettävien näyttölaitteiden avulla. Spatiaalisia näyttölaitteita sen sijaan ei ole juurikaan käytetty. Tällä hetkellä sovellukset ovat pääosin yhteen tarkoitukseen suunniteltuja eikä alalla ole vielä olemassa sovelluksien kehittämistä, toiminnallisuuksia tai käyttöliittymiä koskevia standardeja.

Erilaisten teknologioiden käyttöönotto teollisuudessa tapahtuu usein siten, että ensin teknologian avulla pyritään tukemaan olemassa olevaa työprosessia. Tämän vaiheen jälkeen työprosessin laatua pyritään parantamaan teknologian avulla. Mikäli ensimmäisessä vaiheissa teknologian käyttöönotto onnistuu, voidaan seuraavaa iteraatiota alkaa rakentaa suoraan käyttöönotetun teknologian ympärille. Tällöin vanhaa työprosessia muutetaan radikaalisti tai otetaan käyttöön täysin uusi työprosessi, joka perustuu uuden tek-

nologian hyödyntämiseen. (Barras 1986, ss. 5–7) Suuri osa tämänhetkisestä kirjallisuudesta löytyvistä lisätyn todellisuuden sovelluksista on kehitetty *tukemaan* työprosessia, joka tarkoittaa Barrasin määritelmän ensimmäistä vaihetta. Kuitenkin myös muihin vaiheisiin löytyy toteutuksia, joita tarkastellaan luvuissa 2.3.1 sekä 2.3.2.

Sovelluksia on kehitelty useille teollisuudenaloille, kuten valmistavaan teollisuuteen, logistiikkaan tai rakentamiseen. Tässä työssä tarkastellaan käyttökohteita valmistavan teollisuuden sekä logistiikan aloilta, sillä tutkimuksen kohteena olevia nostureita käytetään pääosin näillä aloilla. Seuraavaksi käydään läpi kirjallisuudesta löytyneitä sovelluksia. Suuri osa kirjallisuudessa esitellyistä sovelluksista on teknisiä ominaisuuksia esitteleviä prototyyppejä, joiden evaluointi on tehty yksinomaan teknisistä näkökulmista. Vaikka pelkkä tekninen evaluointi ei ole tämän tutkimuksen kannalta kiinnostavaa, on myös tällaisia sovelluksia poimittu esittelemään lisätyn todellisuuden tuomia sovellusmahdollisuuksia.

### 2.3.1 Sovelluksia tuottavassa teollisuudessa

Fite-Georgel (2011) jakaa tuottavassa teollisuudessa käytettävät lisätyn todellisuuden sovellukset viiteen ryhmään sen mukaan, missä tuotannon vaiheessa niitä käytetään. Ryhmät ovat suunnittelu, valmistus, käyttöönotto, huolto sekä käytöstä poistaminen. Erilaisten sovellusten määrä ryhmien kesken jakaantuu tasaisesti neljän ensimmäisen suhteen, mutta käytöstä poistamista tukevia sovelluksia on selvästi vähiten. Navab (2004) käyttää hieman hienojakoisempaa ryhmittelyä, jossa ryhmät ovat suunnittelu, käyttöönotto, valmistus, laadunvarmistus, koulutus, seuranta ja hallinta sekä huolto. Tässä työssä tarkasteltavat sovellukset on jaettu Fite-Georgelin sekä Navabin ryhmittelyihin pohjautuen kolmeen ryhmään, jotka ovat suunnittelu, valmistus sekä huolto. Ryhmät linkittyvät Fite-Georgelin ja Navabin ryhmäjakoisiin taulukon 2 mukaisesti.

**Taulukko 2:** Tuottavan teollisuuden sovellusten ryhmittely

Ryhmä	Fite-Georgelin ryhmät	Navabin ryhmät
Suunnittelu	Suunnittelu	Suunnittelu
Valmistus	Valmistus, käyttöönotto, käytöstä poistaminen	Valmistus, käyttöönotto, laadunvarmistus, koulutus
Huolto	Huolto	Seuranta ja hallinta, huolto

Suunnitteluvaiheessa tuotemallit ja -suunnitelmat muodostetaan pääsääntöisesti käyttäen CAD-sovelluksia. Shin & Dunston (2008, s. 8) esittävät konseptin, jossa lisätyllä todellisuudella voidaan tuoda lisäarvoa visualisoimalla näitä suunniteltavia tuotteita tuomalla CAD-mallit oikeissa mittasuhteissa todelliseen ympäristöön. Konseptin mukainen järjestelmä on toteutettu autojen sisätilasuunnitteluun, jossa suunnittelija voi istua auton si-

sällä ja tutkia ympäristöön sijoitettuja CAD-malleja. Tällä tavoin voidaan selvittää miltä keskeneräiset mallit näyttävät todellisessa ympäristössä ja sopivatko ne niille varattuun tilaan. Lisäksi järjestelmä mahdollistaa auton sisätilan tutkimisen koskettamalla, joka tutkimuksen mukaan tuo erityisesti hyötyä auton sisätilojen etäisyyksien ja kokojen hahmottamiseen verrattaessa pelkästään tietokoneen ruudulla tehtävään suunnitteluun. (Ohshima et al. 2003, s. 2)

Toinen suunnitteluvaiheessa käytetty tapa on ryhmäsuunnittelu. Ryhmäsuunnittelussa jokainen ryhmän jäsen näkee pöydällä CAD-mallin, jota kuka tahansa voi muokata siten, että muut henkilöt näkevät myös muutoksen. Tämä on erityisen hyödyllistä tuotteen integraatiovaiheessa, jossa kokonaisen tuotteen CAD-malli kootaan yhdistämällä useiden eri osien CAD-malleja. Prototyypisovelluksen avulla tehdyn käyttäjätutkimuksen mukaan tällainen sovellus olisi hyödyllinen myös tuotantokäytössä. (Regenbrecht et al. 2002) Suurimmat ryhmäsuunnittelusta saatavat hyödyt eivät kuitenkaan välttämättä varsinaisesti liity lisätyn todellisuuden tuottamaan visuaaliseen lisäarvoon vaan siihen, että se helpottaa ryhmän sisäistä kommunikaatiota (Craig 2013, s. 197). Tässä tapauksessa siis teknologia toimii kommunikaation mahdollistajana.

Erilaisten mallien sijoittelun lisäksi voidaan visualisoida jotain ihmissilmälle normaalisti näkymätöntä, joka helpottaa tuotteen optimointia käyttötarkoitukseensa. Tätä on käytetty hyväksi suunniteltaessa lentokoneiden sisätiloja visualisoimalla tilassa kulkevia ilmapurtoja sekä eri osiin kohdistuvaa painetta. Tutkimuksen mukaan lisätyn todellisuuden sovelluksen hyötynä verrattuna fyysisesti rakennettavaan simulaatioympäristöön on ensisijaisesti kustannustehokkuus. (Regenbrecht et al. 2005, s. 5)

Suunnitteluvaiheen käyttötapauksista voidaan havaita, että lisätyllä todellisuudella ei pelkästään tyydytä tukemaan olemassa olevaa prosessia vaan se on myös luonut täysin uusia toimintatapoja.

Valmistusvaiheessa käytettävät sovellukset antavat käyttäjälle yksityiskohtaisia ohjeita kokoonpanon avuksi. Käyttämällä lisättyä todellisuutta päästään eroon fyysistä ohjekirjoista ja yksittäisen käyttäjän ei tarvitse välttämättä muistaa ulkoa kokoonpanon jokaista eri vaihetta. (Fite-Georgel 2011, s. 4) Kokoonpanon ohjeistaminen on erityisen hyödyllistä tuotantolinjoilla, jossa tehdään paljon räätälöityjä tuotteita (Regenbrecht et al. 2005, s. 8). Verrattuna fyysisten ohjekirjojen käyttöön sovellusten avulla työnteko nopeutuu ja sekä fyysinen että psyykinen työkuormitus vähenee (Nakanishi et al. 2007, ss. 4–5; Tang et al. 2003). Ohjeistaminen myös luonnollisesti helpottaa uusien käyttäjien koulutusta. Koulutustilanteessa voidaan ohjeistamisen lisäksi simuloida todellisessa ympäristössä koulutuskenaarioita, jotka saattaisivat normaalisti olla vaarallisia tai muuten hankalasti toteutettavissa (Navab 2004, ss. 2–3; Nee et al. 2012, s. 13). Sovellukset eivät

ole kuitenkaan suunniteltu pelkästään antamaan tukea kokemattomille työntekijöille vaan niiden avulla voidaan tuoda relevanttia informaatiota myös kokeneille työntekijöille. Informaation tuominen näkökenttään poistaa tarpeen manuaaliseen mittareiden tai muiden ulkopuolisten lähteiden katsomiseen. (Fite-Georgel 2011) Tämä parantaa työntekijän turvallisuutta sekä keskittymistä varsinaiseen työtehtävään. Olwal et al. (2008) esittelevät tutkimuksessaan sovellusta CNC-jyrsimen käytön avuksi. Sovelluksessa käyttäjälle tuodaan esiin reaaliaikadataa jyrsimen toiminnasta (esimerkiksi moottorin kierroslukumittari). Sovelluksen kerrotaan hyödyttävän sekä kokemattomia että kokeneita työntekijöitä, mutta varsinaista formaalia hyötyjen evaluointia ei ole kummankaan ryhmän tapauksessa suoritettu.

Tuotteen valmistuttua voidaan lisättyä todellisuutta käyttää laadunvalvontaan ja etsiä valmistusvirheitä vertaamalla valmista fyysistä tuotetta virtuaalisiin suunniteltuihin CAD-malleihin (Webel et al. 2007). Myös käytöstä poistamista tukevissa sovelluksissa voidaan käyttää CAD-dataa hyväksi. Yhdistämällä data reaali maailmaan vähennetyn todellisuuden konseptin avulla, voidaan tuotantolaitoksissa mallintaa saatavan lisätilan määrää, kun jokin laite tai osa poistetaan käytöstä. Samalla voidaan suunnitella tälle tyhjälle tilalle uuden osan lisäämistä tai muuta käyttöä. (Zokai et al. 2003, ss. 1–2)

Huoltovaiheessa sovellukset voivat valmistusvaiheen tavoin tuoda käyttäjän saataville huolto-ohjeita sähköisessä muodossa paperisen ohjekirjan sijaan sekä antaa informaatiota kohdetuotteesta ja sen osista (Henderson & Feiner 2007). Huollon apuna voidaan käyttää myös kaukoapuria (engl. remote expert), joka tarkoittaa videopuhelua toisen henkilön kanssa, joka voi auttaa huollon suorittamisessa. Tällöin kaukoapurina toimiva henkilö voi esimerkiksi tehdä varsinaista huoltotoimenpidettä suorittavan henkilön näkökenttään nuolia tai muita merkintöjä havainnollistamaan sanomaansa. Prototyypisovelluksen käyttäjien mukaan kaukoapurin käyttö oli helppoa ja vastasi pitkälti ohjeiden saamista fyysisesti samassa huoneessa olevalta henkilöltä. (Gurevich et al. 2012) Kaukoapurin avulla on mahdollista luoda kustannussäästöjä ja parantaa palvelun nopeutta, kun huoltohenkilöä ei tarvitse lähettää fyysisesti paikan päälle tekemään huoltoa.

### **2.3.2 Sovelluksia logistiikassa**

Logistiikan alan sovellukset ovat pääasiassa kehitetty varastotoiminnan parantamiseen eli käytännössä prosessien sähköistämiseen sekä varastossa tapahtuvan tavaroiden keräämisen tehostamiseen.

Tavaroiden keräämistä varastosta on tehostettu sähköistämällä keräyslistoja sekä auttamalla käyttäjää navigoimaan varastossa. Navigointi on kaksitasoinen, jossa ensin ohjataan käyttäjä kohti oikeaa hyllyä. Kun käyttäjä on löytänyt oikean hyllyn, osoittaa järjestelmä käyttäjälle visuaalisesti tarkalleen missä kohtaa hyllyä tavara sijaitsee.

(Schwerdtfeger et al. 2011; Reif & Walch 2008) Kummassakin tutkimuksessa sovellusta verrattiin paperilla toimivaan keräilyyn. Schwerdtfeger et al. suorittamassa tutkimuksessa keräilyaika lyheni, mutta tehtyjen virheiden määrä kasvoi hieman. Schwerdtfeger et al. epäilivät virheiden määrän lisääntymisen syyksi puutteita sovelluslogiikan virheetarkistuksessa. Reifin & Walchin tutkimuksessa sitä vastoin keräilyaika suureni, mutta kognitiivinen kuormitus pieneni. Reif & Walch epäilivät keräilyajan suurenemisen syyksi epävarmasti toiminutta ääniohjausta. Teknisistä ongelmista johtuen näiden tutkimusten tulokset ovat ristiriidassa. Tulosten perusteella voidaan kuitenkin olettaa, että oikein (ilman teknisiä ongelmia) toimivan lisätyn todellisuuden sovelluksen on mahdollista lyhentää keräilyaikaa sekä pienentää työn aiheuttamaa kognitiivista kuormitusta.

Sisävarastojen lisäksi on kehitetty konsepteja ulkotiloissa tapahtuvaan navigointiin ja tavaroiden, kuten merikonttien, tunnistamiseen RFID:n avulla (Ginters & Cirulis 2013), mutta käytännön toteutuksien kuvauksia tai arvioita näistä ei ole julkaistu.

### **2.3.3 Mahdollisia hyötyjä nosturioperaattorille**

Edellä tutkittujen kirjallisuudesta löytyneiden sovellusten perusteella voidaan pohtia nosturioperaattorin työn tukemista. Nosturioperaattorin työ on pääasiassa tuotannollista, joten tuottavan teollisuuden näkökulmasta tärkeimmät käyttötapaukset löytyvät valmistusta sekä huoltoa koskevista sovelluksista. Logistiikan sovelluksista sekä työtehtävien sähköinen hallinta että keräämisen tehostaminen sisätiloissa vastaavat läheisesti tässä työssä käsiteltävää nosturioperaattorin työtä.

Tuottavan teollisuuden valmistusvaiheen sovelluksista voidaan poimia erityisesti työtä helpottavan informaation tuominen operaattorin saataville, mikä poistaa tarpeen informaation seuraamiselle jostain ulkoisesta laitteesta. Tällöin operaattori voi pitää katseensa jatkuvasti siirrettävässä esineessä, mikä voi parantaa nosturityön turvallisuutta. Kuten aiemmin määriteltiin, lisätyn todellisuuden avulla voidaan luoda kustannussäästöjä tuomalla esiin ihmisilmälle luonnollisesti näkymättömiä asioita. Kustannussäästöjen sijaan nosturityön tapauksessa tämä voisi tarkoittaa turvallisuuden lisäämistä esimerkiksi erilaisten turva-alueiden visualisoinnin avulla.

Logistiikan alalla tehdyt keräyslistojen digitalisoinnit lisätyn todellisuuden avulla ovat myös nosturityön kannalta kiinnostavia ja mahdollisesti käyttömukavuutta parantavia. Nosturityössä vastaava operaatio olisi nostotehtävien hallinta integroimalla sovellus yrityksen sisäisiin tietojärjestelmiin. Lisäksi logistiikassa käytettyä navigointia oikean hyllyn luo voisi nosturin tapauksessa käyttää nostettavan kuorman paikan visualisointiin sekä nosturin ohjaamiseen haluttuun pisteeseen.

## 3 ÄLYLASISOVELLUS

Tässä luvussa esitellään ensin teollisuuskäyttöön tarkoitetun prototyypisovelluksen toteutukseen liittyvää teoriaa. Sen jälkeen käydään läpi älylasisovelluksen komponentit sekä esitellään toteutusta helpottavia ohjelmistoja ja kirjastoja. Sitten esitellään sovelluksen tarvitsema laitteisto eli älylasit. Lopuksi käsitellään älylasisovellukseen liittyviä haasteita erikseen teknisestä sekä sosioteknisestä näkökulmasta eli vastataan alatutkimuskysymykseen:

- Mitä teknisiä ja sosioteknisiä haasteita liittyy lisätyn todellisuuden sovelluksen toimintaan ja käyttöönottoon nosturiympäristössä?

### 3.1 Prototyypisovellus teollisuuskäyttöön

Suunnittelutieteellinen tutkimus vastaa pitkälti perinteisen tuotesuunnittelun *tutkimus ja kehitys*-vaihetta, jossa uusia ideoita kokeillaan ja pyritään valitsemaan niistä tuotantokäyttöön sopivimmat jatkokehitettäväksi. Tämän perusteella tässä työssä toteutettava sovellus voidaan siis kategorisoida prototyypisovellukseksi. Prototyypisovelluksen toteutuksen kannalta on huomioitava teollisuusympäristön asettamat erityisvaatimukset sekä lisätyn todellisuuden sovellusten yleiset toimintaperiaatteet, tarvittavat komponentit ja käytettävä laitteisto.

Rakennettaessa prototyyppiä teollisuuskäyttöön ovat kommunikointi loppukäyttäjän kanssa sekä vaatimusten rajaaminen ajoissa tärkeitä tekijöitä onnistumisen kannalta (Lichter et al. 1993, s. 6). Projektin onnistumiseen tarvitaan myös tilaajaorganisaatiosta henkilö, joka tuntee prototyyppiä koskevan prosessin hyvin ja uskoo sovelluksen tuovan siihen lisäarvoa (Regenbrecht et al. 2005, s. 12). Usein prototyypit mielletään kertaluontoisiksi kokeiksi, jotka voi projektin jälkeen heittää roskiin, joten niiden dokumentointi jää valitettavan usein vajaaksi tai täysin olemattomaksi. Vaikka dokumentointia ei voi eikä kannata tehdä tuotantosovelluksia vastaavaksi, olisi ainakin pintapuolinen dokumentaatio prototyypistäkin kannattavaa tehdä. (Schneider 1996)

Lichter et al. (1993, s. 2) jakavat teollisuuskäyttöön suunnatut prototyypisovellukset neljään tyyppiin, jotka ovat esitysprototyyppi (engl. presentation prototype), todellinen prototyyppi (engl. prototype proper), koekytkentäprototyyppi (engl. breadboard prototype) ja pilottijärjestelmä (engl. pilot prototype). Esitysprototyypin tarkoituksena on luoda prototyypin toteuttajan ja tilaajan välille selkeä kuva tulevan järjestelmän toiminnalli-



suuksista. Se sisältää usein käyttöliittymäkuvia sekä muita järjestelmän toimintoja selittäviä dokumentteja, mutta ei varsinaista sovelluksen toteutusta. Todellisella prototyypillä tarkoitetaan toteutettua sovellusta, jossa huomio on kiinnitetty erityisesti käyttöliittymän toimintoihin. Sen avulla esitellään sovelluksen ja toteutuksen sopivuutta todelliseen ympäristöön ja todelliselle laitteistolle. Koekytkentäprototyyppiä käytetään erilaisten toteutustekniikoiden evaluointiin. Se on hyödyllinen mikäli ei ole täysin selvää millä tavalla jokin toiminallisuus olisi järkevintä toteuttaa. Pilottijärjestelmäksi kutsutaan prototyyppiä, joka on käytössä osana tuotantojärjestelmää.

Floyd (1984, ss. 6–12) listaa prototyyppien toteuttamiseen erilaisia lähestymistapoja. Tutkivan prototyypin (engl. exploratory prototype) tarkoituksena on selvittää sovelluksen tilaajan ja toteuttajan kannalta mitä sovellukselta varsinaisesti halutaan. Tilaaja saa tällä tavoin ensimmäisen todellisen esityksen sovelluksesta, joka edesauttaa muodostamaan jatkokehitysideoita ja sovelluksen vaatimuksia. Toteuttajan kannalta tutkiva prototyyppi tutustuttaa hänet kyseessä olevalle alalle. Kokeellinen prototyyppi (engl. experimental prototype) on tilaajan ja toteuttajan yhteistyössä tehtävä iteratiivisesti etenevä lähestymistapa, jossa kokeillaan erilaisia toteutustapoja ja muokataan prototyyppiä käyttäjäläpäläutteen mukaan. Evolutionaarinen prototyyppi (engl. evolutionary prototype) tarkoittaa tuotantokäytössä olevan järjestelmän uusien vaatimusten kokeilua.

**Taulukko 3:** Prototyyppikäsitteet

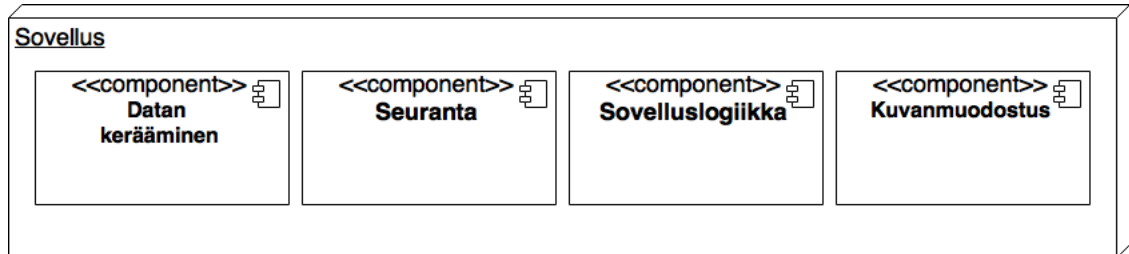
Käsite tässä työssä	Lichterin määritelmä	Floydin määritelmä
Esitysprototyyppi	Esitysprototyyppi	-
Prototyyppi	Todellinen prototyyppi	Tutkiva prototyyppi
Pilottiprototyyppi	Pilottijärjestelmä	Kokeellinen prototyyppi
Tuotantoprototyyppi	Koekytkentäprototyyppi	Evolutionaarinen prototyyppi

Osa Lichterin ja Floydin määritelmistä liittyvät toisiinsa sekä täydentävät toisiaan. Määritelmät yhdistämällä muodostetaan tässä työssä käytettävä neliportainen viitekehys prototyyppien luokitteluun, joka on esitetty taulukossa 3. Taulukossa esitellään tässä työssä käytettävät käsitteet ja kerrotaan mitkä Lichterin ja Floydin määritelmät ne pitävät sisällään.

### 3.2 Sovelluksen komponentit

Lisätyn todellisuuden sovellus koostuu komponenteista, jotka vastaavat pitkälti luvussa 2.2 esitellyn lisätyn todellisuuden prosessin vaiheita lukuun ottamatta esitysvaihetta, joka tapahtuu näyttölaitteella eikä siten ole osa sovellusta. Näiden vaiheiden lisäksi so-

velluksessa pitää luonnollisesti olla myös sovelluslogiikkaa varsinaista toiminnallisuutta varten. Sovelluksen sisältämät komponentit ovat esillä kuvassa 9.



**Kuva 9:** Sovelluksen komponentit

Lisätyn todellisuuden sovellukset muistuttavat toiminnallisuuksiltaan ja komponenttientsa osalta hyvin paljon tietokonepelejä (Craig 2013, s. 130). Ohjelmakooditasolla tarkasteltaessa luvussa 2.2 esitetty lisätyn todellisuuden prosessi vastaa peruseriaatteiltaan pelinkehityksessä käytettävää game loop-suunnittelumallia.

```

1      global boolean shouldQuit = false;
2      void GameLoop()
3      {
4          while(!shouldQuit)
5          {
6              GetInput();
7              Updateworld();
8              Render();
9          }
10     }
  
```

*Koodilistaus 1: Pseudokoodi game loop-suunnittelumallin mukaisesta pääfunktioista.*

**Taulukko 4:** Tietokonepelien ja lisätyn todellisuuden sovellusten toiminnallisuuden vastaavuudet game loop-suunnittelumallissa

Toiminto tietokonepelissä	Toiminto lisätyn todellisuuden sovelluksessa
Syötteen lukeminen	Datan kerääminen
Pelimaailman päivittäminen	Seuranta ja sovelluslogiikka
Kuvanmuodostus	Kuvanmuodostus

Game loop-suunnittelumallissa pelin pääfunktioita ajetaan silmukassa koko pelin suori- tuksen ajan. Pääfunktio sisältää kolme peräkkäistä toimintoa, jotka ovat käyttäjän syöt- teen lukeminen, pelimaailman päivittäminen ja kuvanmuodostus. (Nystrom 2014, s. 123) Pääfunktion toiminta on esitetty pseudokoodina koodilistauksessa 1. Pääfunktion toiminnallisuudet vastaavat edellisessä kappaleessa esiteltyjä lisätyn todellisuuden so- velluksen komponentteja järjestyksessä datan kerääminen, seuranta ja sovelluslogiikka sekä kuvanmuodostus. Vastaavuudet on esitetty taulukossa 4.

### 3.3 Ohjelmistot ja kirjastot

Sovellus voidaan toteuttaa kokonaisuudessaan alusta alkaen itse, sillä yhdenkään sovellukseen kuuluvan komponentin toteuttaminen ei vaadi suljettujen kirjastojen tai algoritmien käyttöä. Kuitenkin nopein ja varsinkin prototyypisovelluksen tapauksessa käytännöllisin tapa on käyttää valmiita ohjelmakirjastoja (Luqi & Steigerwald 1992, s. 8). Valmiiden kirjastojen etuna on nopeamman toteutuksen lisäksi usein myös laitteistoabstraktio, joten niitä on mahdollista käyttää useilla eri laitteistoalustoilla ja käyttöjärjestelmillä (Craig 2013, s. 133). Osa valmiista kirjastoista on julkaistu avoimena lähdekoodina, joten tarvittaessa niihin voi itse tehdä myös korjauksia ja lisäyksiä lisenssin niin salliessa.

Lisätyn todellisuuden sovelluksia varten on kehitetty useita ominaisuuksiltaan vaihtelevia ohjelmakirjastoja, joiden tarkoituksena on tarjota käyttäjälle (eli tässä tapauksessa ohjelmoijalle) valmiita komponentteja datan keräykseen sekä seurantaan. Osa kirjastoista sisältää vain seurantaan soveltuvia komponentteja, jolloin ohjelmoijan on itse kerättävä tarvittava data esimerkiksi käyttöjärjestelmän tarjoamista rajapinnoista. (Craig 2013, ss. 125–135) Kirjastojen ominaisuudet vaihtelevat laitteistotuen sekä seurantatekniikoiden ja -algoritmien osalta. Liitteessä 1 on vertailtu seitsemää yleistä kirjastoa. Alan nopean kehityksen vuoksi kattavaa tietoa kirjastojen käyttäjämääristä ei ole saatavilla, joten kirjastojen valinta vertailuun jouduttiin tekemään muilla kriteerillä. Osa (ArpaSDK, CraftAR, Vuforia, Metaio, Layar) valittiin, koska ne edustavat viimeisintä tekniikkaa (engl. state-of-the-art) (Augmented World Expo 2014). ARToolKit valittiin, sillä se on kirjallisuuden mukaan vanhin ja toimii pohjana useille myöhemmin kehitetyille lisätyn todellisuuden kirjastoille (Mullen 2011, s. 6). ALVAR valittiin, sillä se edustaa kotimaista teknologiaa (VTT 2014).

Kuvanmuodostukseen voidaan käyttää ensisijaisesti peleihin tarkoitettuja kirjastoja tai valmista 3D-pelimoottoria. Kuvanmuodostus voidaan toteuttaa eri abstraktiotasoja tarjoavien kirjastojen avulla, joita on kuvailtu taulukossa 5. Taulukossa esitetyt kirjastot ovat esimerkkejä ja niille löytyy niin avoimen kuin suljetun lähdekoodin vaihtoehtoja.

**Taulukko 5:** Kuvanmuodostukseen käytettävien kirjastojen abstraktiotasot

Abstraktiotaso	Kirjastot	Kirjaston tarjoamat toiminnallisuudet *)	Ohjelmoijan toteutettavat toiminnallisuudet
Alhainen	OpenGL, DirectX	Laitteiston piirtokäskyt	Sovelluslogiikka, käyttöjärjestelmät, syötteenhallinta, multimediatoiminnallisuus, 3D-maailman hallinta ja transformaatiot,
Korkea	OpenScene Graph, Ogre3D	3D-maailman hallinta ja transformaatiot	Sovelluslogiikka, käyttöjärjestelmät, syötteenhallinta, multimediatoiminnallisuus
3D-pelimoottori	Unity3D, Unreal Engine	Käyttöjärjestelmät, syötteenhallinta, multimediatoiminnallisuus	Sovelluslogiikka

\*) korkeamman tason kirjastot abstrahoivat kaikki alemman tason toiminnot

Kuvanmuodostukseen käytettävät alhaisen tason kirjastot abstrahoivat eri laitteistoille lähetettävät piirtokäskyt, jolloin ohjelmoijalle jää itse toteutettavaksi 3D-maailman hallinta ja 3D-avaruudessa tehtävät transformatio-operaatiot. Korkean tason kirjastot sen sijaan abstrahoivat 3D-maailman hallinnan sekä transformatio-operaatiot ja tarjoavat ohjelmoijalle helppokäyttöiset rajapinnat niiden hallintaan. (Grubert & Grasset 2013, s. 29; Craig 2013, s. 169)

Käytettäessä valmista 3D-pelimoottoria, on sen vastuulla kaikkien edellä mainittujen toiminnallisuuksien lisäksi eri käyttöjärjestelmien abstrahointi, käyttäjän syötteen hallinta sekä multimediasisällön hallinta. Usein pelimoottorin yhteyteen sisältyy myös graafisesti käytettävä editori. (Thorn 2014) Käytettäessä pelimoottoria toteutuksen pohjana, sovelluskehityksessä voidaan keskittyä varsinaiseen sovelluksen toiminnallisuuden kehittämiseen, sillä sovelluksen vastuulle jää vain varsinaisen sovelluslogiikan hallinta (Craig 2013, ss. 130–131). Liitteessä 2 on vertailtu muutamaa yleistä pelimoottoria lisätyn todellisuuden sovelluksen toteuttamisen näkökulmasta.

### 3.4 Laitteisto

Äylaseille suunnitellussa sovelluksessa virtuaalisten objektien esittämiseen käytetään luonnollisesti päässä pidettävää näyttölaitetta. Näyttötekniikkana on mahdollista käyttää joko videoa tai optista näyttötekniikkaa. Turvallisuuden kannalta kuitenkin teollisuuskäyttöön suunnatuissa sovelluksissa on syytä käyttää optista näyttötekniikkaa, sillä videokuvan hävitessä yhtäkkisesti esimerkiksi teknisen vian vuoksi, käyttäjä ei pysty nä-

kemään lainkaan ympäristöään (Navab 2004, s. 2; Syberfeldt et al. 2014, s. 8). Turvallisuutta heikentää myös videolla toimivassa näyttölaitteessa aina esiintyvä pieni viive (Azuma 1997).

Markkinoilla on tällä hetkellä useita hieman eri tarkoituksiin soveltuvia älylaseja. Tarkempi vertailu markkinoilla tällä hetkellä tarjolla olevista laseista on esitetty liitteessä 3. Fyysisesti lasit eroavat toisistaan sen osalta näytetäänkö virtuaaliset objektit vain toiselle vai kummallekin silmälle. Lasien välillä on myös eroja näkökentän (engl. field of view) suuruuden osalta. Älylasien näkökentän koko ilmoitetaan yleensä asteina horisontaalisella akselilla tai erikseen horisontaalisella sekä vertikaalisella akselilla. Ihmisen näkökentän koko on horisontaalisella akselilla noin 180 astetta ja vertikaalisella akselilla noin 135 astetta. Parhaimmista vertailluista laitteista eivät peitä kuin noin 19% (35 astetta / 180 astetta) ihmisen horisontaalisesta näkökentästä.

Suurin osa älylaseista toimii Android-käyttöjärjestelmällä ja ne sisältävät käytännössä samat toiminnallisuudet ja käyttöjärjestelmäpalvelut kuin Android-käyttöjärjestelmää käyttävät matkapuhelimet. Lisätyn todellisuuden prosessikuvauksessa määriteltynä datalähteinä 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.

### **3.5 Haasteet**

Kuten aiemmin todettiin, vain harvat ammattikäyttöön suunnitellut älylasisovellukset ovat edenneet tuotantokäyttöön asti. Lisätyn todellisuuden alueella ei ole vielä syntynyt suurta suosiota nauttivaa niin sanottua ”killer app”-idea. Tällaisen idean olisi oltava luotettava, käyttäjäystävällinen sekä skaalautuva (Navab 2004). Sovelluksiin liittyvät toteutuksen ja käyttöönoton haasteet voidaan jakaa karkeasti teknisiin ja sosioteknisiin kategorioihin.

#### **3.5.1 Tekniset**

Tekniset haasteet jakautuvat käytettävän laitteiston tuomiin haasteisiin sekä ohjelmistoteknillisiin haasteisiin. Laitteiston haasteet liittyvät sensoridatan epätarkkuuteen sekä näyttöjen kokoon. Ohjelmistoteknisestä näkökulmasta haasteet liittyvät sovelluksen toimintavarmuuteen sekä skaalautuvuuteen.

Sekä ammatti- että viihdekäyttöön suunnatuissa sovelluksissa haasteita laitteiston osalta tuottavat sensoreilla toteutettuun seurantaan liittyvät ongelmat ja epätarkkuudet. Viime vuosina mobiililaitteiden sensoreiden tarkkuudet ovat kuitenkin jo parantuneet selvästi (Ma et al. 2013). Tästä huolimatta lisätyn todellisuuden sovellukseen tarvittava asennon määrittäminen pelkkien GPS- ja kiihtyvyyssantureiden sekä gyroskoopin avulla on edelleen epätarkkaa (Nurminen et al. 2014, ss. 9–10). Pelkästään sensoreilla toimivien sovellusten tarkkuutta voidaan parantaa suodattamalla sensoriarvoja laajennetun Kalman-suotimen avulla (Sabatini 2006). Parhaaseen tulokseen kuitenkin päästään käyttämällä hybridiseurantaa, jossa sensoreiden tukena käytetään konenäön menetelmiä eli optista seurantaa (Porzi et al. 2012; Ligorio & Sabatini 2013; Oskiper et al. 2012).

Tutkimalla liitteessä 3 olevaa vertailua voidaan huomata, että vaikka päässä pidettävien näyttöjen tekniikka on parantunut huomasti viime vuosina, on kaikissa markkinoilla tällä hetkellä olevissa malleissa ongelmana ihmisen näkökenttään verrattuna pieni näyttöala, jolle virtuaalisia elementtejä voidaan sijoittaa. Näyttöalan pienuudella on tehokkuutta pienentävä vaikutus erityisesti tehtävissä, jossa lisättyä todellisuutta käytetään navigointiin tai jonkin esineen etsimiseen (Arthur 2000).

Verrattaessa laitteiston tuomia haasteita kuluttajakäytön ja teollisuuskäytön välillä, erityisesti ympäristö tuo lisähaasteita valoisuuden, paikannuksen, melun sekä likaisuuden vuoksi. Lisäksi teollisuuskäytössä tarvitaan mahdollisesti erilaisia suojarusteita, joiden käyttö pitää olla mahdollista käytettäessä sovellusta. Teollisuuskäytössä sovellusta käytetään jatkuvasti, joten akkukeston pitää riittää yhtäjaksoiseen toimintaan työvuoron ajaksi (Reif & Walch 2008, s. 4).

Vaikka sensoridatan käsittelyyn ja konenäköön liittyvät algoritmit ovat kehittyneet huomasti, seuranta ei edelleenkään ole täysin toimintavarmaa (Rabbi & Ullah 2013, s. 12). Osa uusista algoritmeista (esimerkiksi DTAM (Newcombe et al. 2011)) on myös niin raskaita, että mobiililaitteiden tai älylasien prosessointiteho ei tällä hetkellä riitä niiden reaaliaikaiseen käyttöön, joten niitä voidaan käyttää käytännössä vain tietokoneella (Forster et al. 2014, s. 2; van Krevelen & Poelman 2010, s. 14). Toisaalta samaan käyttöön tarkoitetut algoritmit eivät 2000-luvun alussa vielä soveltuneet reaaliaikakäyttöön edes normaaleilla tietokoneilla (Azuma et al. 2001, s. 4), joten tekniikan kehityksen myötä prosessointiteho tuskin jää pysyväksi ongelmaksi.

Sovelluksen skaalautuvuuteen liittyvillä ongelmilla tarkoitetaan skaalautuvuutta prototyyppiasteelta tuotantokäyttöön. Regenbrechtin (2005, ss. 11–12) mukaan tämä tarkoittaa käyttöönoton helppoutta ja sovelluksen toimintavarmuutta uusissa ympäristöissä, jotka eroavat prototyypin koeympäristöstä. Navab (2004, s. 5) sen sijaan määrittää skaalautuvuuden teollisuusyrityksen näkökulmasta: Hän pitää skaalautuvuuden merkkinä

sitä, että teollisuusyrityksillä on itsenäisesti mahdollisuus ottaa sovellus helposti käyttöön suurella volyymillä. Ohjelmistoteknisestä näkökulmasta täytyy sovelluksen olla myös muunneltava, sillä teollisuudessa eri aloilla ja eri valtioilla on myös erilaisia säädöksiä ja standardeja, jotka on otettava huomioon.

Useinkaan lisätyn todellisuuden sovellukset eivät ole itsenäisiä vaan ne halutaan myös integroida osaksi yrityksen tietojärjestelmiä. Tehtäessä reaaliaikaista integrointia esimerkiksi työtehtävien hallinnoinnin tai huollon tueksi on ongelmana yrityksen tietojärjestelmien rajapintoihin kiinni pääseminen (Schwerdtfeger 2012, s. 49) sekä käytettävän verkon (esimerkiksi WLAN) toimintavarmuus tehdasympäristössä. Tehtäessä kertaluontoista integraatiota, kuten tuotaessa CAD-malleja osaksi sovellusta, haasteena on tiedon muuntaminen sovelluksen ymmärtämään formaattiin. CAD-mallien tapauksessa mallit täytyy formaattimuunnoksen lisäksi useimmiten muuntaa epätarkemmiksi, sillä suunniteluun käytetty tarkkuus voi olla sovelluksen näkökulmasta tarpeettoman yksityiskohtainen ja näin ollen liian raskas reaaliaikaiseen kuvanmuodostukseen (Martínez et al. 2014, ss. 7–8).

### 3.5.2 Sosiotekniset

Sosioteknisestä näkökulmasta yksi yleinen ongelma uusien tietojärjestelmien käyttöönotossa on muutosvastarinta ja sen myötä sovelluksen sulauttaminen osaksi nykyistä työprosessia. Muutosvastarinnan syistä on tehty paljon tutkimusta ja näitä tutkimuksia tarkastelevia kirjallisuuskatsauksia eri näkökulmista. Tämän vuoksi tässä työssä käytetään muutosvastarinnan syiden kartoittamiseen kirjallisuudesta löytyviä kirjallisuuskatsauksia suorien lähteiden sijaan. Kirjallisuuskatsauksista löydetyt syyt on esitelty ja ryhmitelty taulukkoon 6. Lähteet on valittu siten, että ne tarkastelevat asiaa eri näkökannoilta, jolloin voidaan helpommin muodostaa yleinen kokonaiskuva muutosvastarinnan syistä työntekijän näkökulmasta.

Lähteiden näkökulmat ovat:

- Hirschheim & Newman: tietojärjestelmien käyttöönotto
- Stanislao & Stanislao: yleinen tekninen
- Baker: työyhteisö
- Oreg: yksilön psykologia
- Kotter & Schlesinger: yrityksen johto

**Taulukko 6:** Muutosvastarinnan syyt työntekijän näkökulmasta

Syy	Lähteet
Haluttomuus nykyisten työtapojen vaihtamiseen	(Hirschheim & Newman 1988; Stanislao & Stanislao 1983; Oreg 2003; Kotter & Schlesinger 1979)
Eivät näe muutoksessa mitään hyötyä	(Hirschheim & Newman 1988; Baker 1987; Kotter & Schlesinger 1979)
Muutos nähdään uhkana ja mahdollisena työpaikan menetyksenä	(Hirschheim & Newman 1988; Stanislao & Stanislao 1983)
Ei mukana muutosta koskevassa päätöksenteossa	(Hirschheim & Newman 1988; Stanislao & Stanislao 1983; Baker 1987)
Resurssien ja määräysvallan uudelleenjako	(Hirschheim & Newman 1988; Stanislao & Stanislao 1983; Oreg 2003; Kotter & Schlesinger 1979)
Muutoksen sopimattomuus organisaation toimintatapoihin	(Hirschheim & Newman 1988; Baker 1987)
Johdon tuen puute	(Hirschheim & Newman 1988; Baker 1987)
Järjestelmän huono tekninen laatu	(Hirschheim & Newman 1988)
Koulutuksen puute uusiin toimintatapoihin	(Stanislao & Stanislao 1983; Baker 1987)
Muutoksen ajoitus	(Stanislao & Stanislao 1983)
Epävarmuus muutoksen syistä	(Baker 1987; Kotter & Schlesinger 1979)
Sosiaalisen aseman muuttuminen työyhteisössä	(Baker 1987; Stanislao & Stanislao 1983)
Työyhteisön ilmapiiri ei avoin muutoksille (ryhmäpaine)	(Baker 1987; Stanislao & Stanislao 1983)
Muutosprojektin vetäjän, järjestelmän toteuttajan tai työntekijän persoonallisuus	(Hirschheim & Newman 1988; Stanislao & Stanislao 1983; Oreg 2003)

Kirjallisuuskatsauksien perusteella yleisimmät syyt muutosvastarinnalle ovat työntekijän haluttomuus nykyisten työtapojen vaihtoon sekä työpaikan sisäisen määräysvallan uudelleenjako. Myös epätietoisuus muutokseen liittyvästä päätöksenteosta ja sen myötä hyötyjen havaitsemisesta ovat yleisiä syitä. Toisaalta ainakin lisätyn todellisuuden alueella erilaisista haasteista huolimatta käyttäjät ovat valmiita jopa sietämään sovellus-



ten puutteita, mikäli he kokevat sovelluksen tuovan lisäarvoa työntekoon (Henderson & Feiner 2007, s. 13).

Tällä hetkellä yksi suurimmista lisätyn todellisuuden sovellusten yleistymistä hidastavista kriteereistä on sovelluksen käyttäjäystävällisyys (Navab 2004, s. 5). Sovelluksen pitää olla yksinkertainen, mutta toimiva ja sen pitää tuoda lisäarvoa käyttäjälleen (Regenbrecht et al. 2005, s. 12). Sovelluksen käytettävyyttä suunniteltaessa on kuitenkin otettava huomioon, ettei käyttäjää häiritä liian suurella informaatiomäärällä (van Krevelen & Poelman 2010, s. 15).

Päässä pidettäville näytöille suunniteltujen sovellusten käyttöliittymät eroavat merkittävästi perinteisen tietokoneen tai mobiililaitteen käyttöliittymistä. Tietokoneissa ja mobiililaitteissa käytetään yleisesti ikkunointiin, kuvakkeisiin, valikoihin sekä käyttäjän ohjaamaan osoittimeen perustuvaa WIMP-käyttötapaa (Windows, Icons, Menus, Pointer), joka kuitenkin ei ole optimaalinen lisätyn todellisuuden sovelluksiin (Billinghurst 2003). Sen sijaan ohjaukseen voidaan käyttää käden liikkeitä, datahansikkaita (engl. data gloves), katsetta tai ääntä (van Krevelen & Poelman 2010, s. 19). Ongelmana lisätyn todellisuuden alalla on kuitenkin käytettävyydsiantuntijoiden ja käyttöliittymästandardien puute, joka johtuu uudenlaisten käyttöliittymien toteutusmahdollisuuksien suuresta määrästä ja vähäisestä tutkimuksesta (Schwerdtfeger 2012, ss. 45–46). Usein käyttöliittymät tehdäänkin iteratiivisesti ”yritys ja erehdys”-menetelmällä tai käyttöliittymäsuunnittelu perustuu jo käytössä oleviin käyttöliittymäratkaisuihin (Schwerdtfeger 2012, ss. 26–29), kuten esimerkiksi WIMP:in.

Teollisuuskäyttö asettaa sovellukselle, laitteistolle ja käyttäjälle myös fyysisiä haasteita. Erityisesti pitkään yhtämittaiseen käyttöön suunniteltujen päässä pidettävien näyttöjen on oltava ergonomisia, joten ne eivät voi olla kovinkaan suuria tai painavia (Reif & Walch 2008, s. 4) ja niiden oltava yhteensopivia erilaisten silmälasien kanssa. Päässä pidettävät näytöt pitäisi myös pystyä kalibroimaan käyttäjäkohtaisesti (Genc et al. 2002). Käytännön testit kuitenkin osoittavat käyttäjäkohtaisen kalibroinnin olevan liian paljon aikaa vievä operaatio verrattuna sen tuomiin hyötyihin (Schwerdtfeger 2012, s. 50). Pitkään käytettyinä päässä pidettävät näytöt saattavat aiheuttaa osalle käyttäjistä myös silmien rasittumista (Schwerdtfeger 2012, s. 53). Jos käytössä on vain yhden silmän näkökenttää muuttava monokkeli, saavutetaan parempi työteho pitämällä sitä ei-dominoivan silmän päällä (Nakanishi et al. 2007, ss. 2–3). Kädessä pidettäviä tai spatiaalisia näyttötekniikoita hyödyntävät sovellukset ovat usein suunniteltu lyhytaikaiseen käyttöön, jolloin ergonominen suunnittelu ei välttämättä ole yhtä tärkeää. Kuitenkin kädessä pidettävien näyttöjen kohdalla on otettava huomioon jo muutaman minuutin yhtäjaksoisen käyttämisen jälkeen syntyvä ”gorilla arm effect”, joka tarkoittaa käden lihasten väsymistä, jos käyttäjän on kannatettava laitetta pitkiä aikoja (Boring et al. 2009, s. 2).

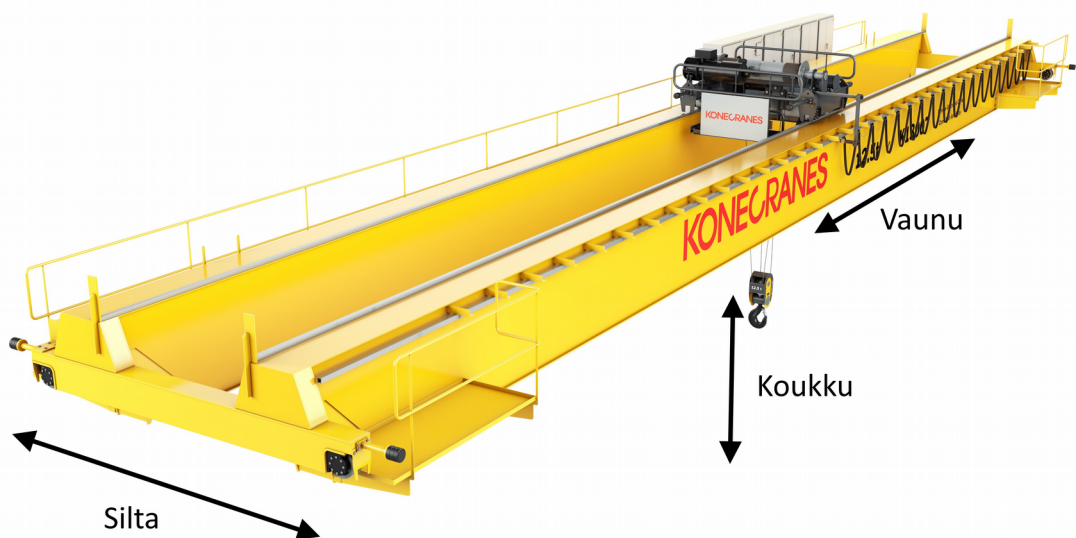
Googlen lanseeraamien Glass-älylasien myötä uutisista on voitu lukea päässä pidettävien näyttöjen aiheuttamista sosiaalisista ongelmista (Porges 2015). Ongelmat johtuivat pääosin älylasien sisältämän kameran tarjoamasta mahdollisuudesta jatkuvaan video- tai valokuvaukseen, jonka katsottiin aiheuttavan yksityisyysongelmia. Vaikka yksityisyyteen liittyviä ongelmia ei ole raportoitu teollisuudesta, saattavat ne lisääntyä lisätyn teollisuuden sovellusten yleistyessä.

## 4 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Tässä luvussa esitellään tutkimuksen empiriaosuuden toteutus. Ensin käydään läpi tutkimuskonteksti. Tämän jälkeen esitellään tutkimusta varten toteutetun sovelluksen ominaisuudet sekä toteutustekniikat korkealla tasolla. Lopuksi esitellään sovelluksen evaluointiin käytetyt skenaariot sekä tiedonkeräysmenetelmät.

### 4.1 Tutkimuskonteksti

Konecranes valmistaa useita erilaisia nostinlaitteita eri käyttötarkoituksiin, jolloin myös nosturin käyttötavat eroavat toisistaan. Tämän tutkimuksen osana kehitetty sovellus on rakennettu toimimaan älyominaisuuksilla varustetun siltanosturin kanssa. Siltanostureita käytetään pääasiassa teollisuushalleissa ja niitä voidaan käyttää esimerkiksi tuotantolinjoilla tavaroiden siirtämiseen eri tuotannon vaiheiden välillä tai varastossa tavaroiden siirtämiseen varastohyllyihin ja sieltä pois.



**Kuva 10.** Siltanosturin liikesuunnat

Siltanosturit koostuvat korkealle, lähelle hallin kattoa, asennetusta liikkuvasta sillasta, jossa koukkuja kannatteleva vaunu liikkuu. Siltanosturin liikkeellä on siis kolme ulottu-

vuutta (silta, vaunu, koukku), jotka on esitetty tarkemmin kuvassa 10. Siltanosturin ope-  
rointi tapahtuu lattiatasolta ohjainlaitteen avulla. Ohjainlaitteita on erilaisia eri käyttötar-  
koituksia varten. Kaikki ohjainlaitteet kuitenkin sisältävät samat perustoiminnot eli sil-  
tanosturin ohjaamisen kaikissa kolmessa ulottuvuudessa.

Nykyaikaisissa siltanostureissa on perustoimintojen lisäksi myös erilaisia käyttöä tuke-  
via älyominaisuuksia. Esimerkkejä älyominaisuuksista ovat automaattinen paikoitus en-  
nalta määrättyihin pisteisiin hallissa sekä noston aikana tapahtuvan heijausliikkeen en-  
nustaminen ja vaimennus. Lisäksi älyominaisuuksilla varustetut nosturit keräävät jatku-  
vasti dataa erilaisista antureista. Kerätyn datan avulla voidaan esimerkiksi pyrkiä ennus-  
tamaan huollon tarvetta.

## 4.2 Tutkimusta varten toteutettu sovellus

Sovelluksen toteutus aloitettiin järjestämällä työpajatapaaminen, jossa ideoitiin sovel-  
lukseen erilaisia ominaisuuksia. Tapaamiseen osallistui tämän diplomityön kirjoittajan  
lisäksi neljä henkilöä Konecranesin Research and Innovation-yksiköstä. Tapaamisen  
päätteeksi ideoidut ominaisuudet priorisoitiin kolmeen ryhmään:

1. Sovellukseen toteutettavat
2. Mahdollisesti toteutettavat
3. Ei toteutettavat

Ideat jakaantuivat prioriteettiryhmiin taulukon 7 mukaisesti.

**Taulukko 7:** Ideoiden jakaantuminen prioriteeteittain

Prioriteetti	Ideoita (kappaletta)
Sovellukseen toteutettavat	26
Mahdollisesti toteutettavat	16
Ei toteutettavat	15

**Yhteensä:** 57 kappaletta

Priorisoitujen ideoiden perusteella muodostettiin esitysprototyyppi helpottamaan toteut-  
tajan ja tilaajan kommunikointia toteutettavista ominaisuuksista. Esitysprototyyppi ra-  
kennettiin käyttötapausdokumenttina, jossa oli suuri painoarvo käyttöliittymäkuvilla.  
Esimerkki käyttötapauksesta ja käyttöliittymäkuvasta on liitteessä 4. Esitysprototyyppiä  
paranneltiin iteratiivisesti ennen sovelluksen varsinaista toteutusta muutamaa otteeseen  
sekä toteuttajan että tilaajan puolelta.

Esitysprototyypin perusteella aloitettiin varsinainen sovelluksen toteutus. Sovellus to-  
teutettiin pilottiprototyypinä. Sovelluksen toteutus eteni iteratiivisesti noin 1-2 viikon

sykleissä, jotka muodostuivat seuraavista toiminnoista: uuden osan tai osien toteutus järjestelmään, toteutettujen uusien osien testaus oikealla nosturilla ja lopuksi toteutettujen toiminnallisuuksien muokkaus ja korjaus testien perusteella sekä esitysprototyypin muokkaus vastaamaan uutta toteutusta. Kokonaisuudessaan sovelluksen toteutukseen kului kahdeksan viikkoa.

#### **4.2.1 Laitteisto**

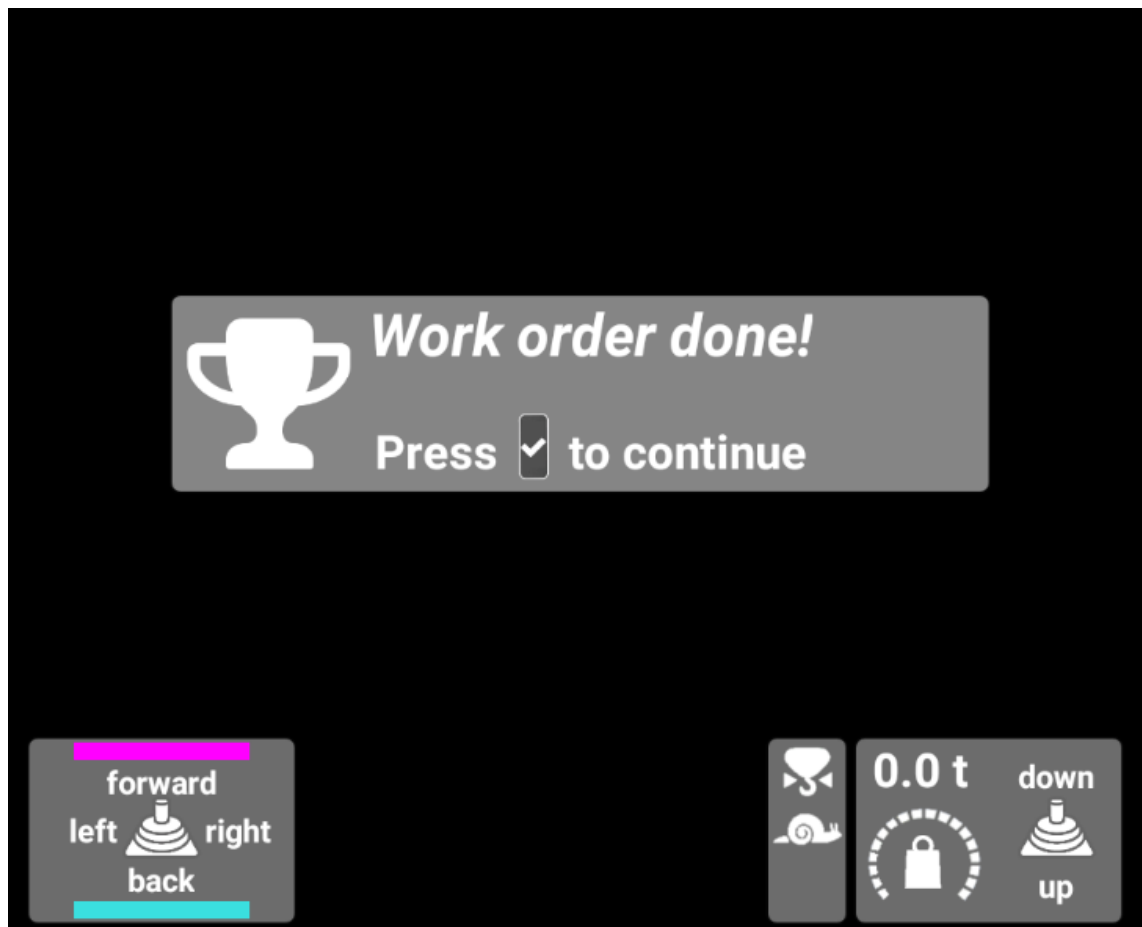
Sovelluksen laitteistoksi valikoitui Epson Moverio BT-200-älylasit. Valinnan ensisijainen syy oli kuvan näkyminen kummankin silmän näkökentän keskellä. Muita valintaan liittyviä syitä olivat hinta, helppo saatavuus sekä Android-käyttöjärjestelmän helppokäyttöisyys sovelluskehittäjän näkökulmasta.

Sovellus toteutettiin toimimaan Konecranesin valmistaman CXT Smart-nosturin kanssa. CXT Smart-nosturi valittiin, koska Konecranesilta löytyi valmiit testitilat sovellukseen testaamiseen tämän nosturin kanssa.

#### **4.2.2 Ominaisuudet**

Sovelluksen toteutustapa oli tutkiva, jossa alussa pohditut ominaisuudet ja niiden myötä rakennettu esitysprototyyppi toimivat viitekehystenä varsinaisen pilottiprototyypin valmistamiseksi. Tämän vuoksi kahdeksan viikon toteutusjakson aikana toteutettiin useita ominaisuuksia, jotka tarkemman testauksen myötä havaittiin käyttökelvottomiksi tai turhiksi. Osa näistä hylätyistä ominaisuuksista oli teknisesti hankalia tai mahdottomia toteuttaa nykyisellä laitteistolla tarpeeksi laadukkaasti, kun taas osa ominaisuuksista havaittiin liian monimutkaisiksi käyttää. Teknisistä ongelmista kerrotaan lisää luvussa 5.3.1. Käytettävyysongelmat ratkaistiin korvaamalla ongelmallinen ominaisuus paremmalla ja helppokäyttöisemmällä. Lopullisen sovelluksen toiminnot voidaan jakaa neljään päätoiminnallisuuteen: tilanäyttö, navigointiavustaja, älylasiavusteinen paikoitus-toiminto ja työtehtävien hallinta.

Operaattorin interaktio sovelluksen kanssa on toteutettu nosturin ohjaimesta löytyvien näppäimien avulla. Käytännössä interaktioissa käytetään kolmea näppäintä: hyväksyminen, navigointiavustajan päälle kytkeminen sekä kohteeseen ajo. Nosturin ohjain valittiin syötelaitteeksi, sillä se on joka tapauksessa operaattorin kädessä ajettaessa nosturia.



**Kuva 11.** Esimerkki käyttöliittymästä

Sovelluksen käyttöliittymä on toteutettu kaksiulotteisena HUD-käyttöliittymänä (engl. heads-up-display), jota ei ole rekisteröity reaalimaailman suhteen. Käyttöliittymään kuuluu ajoittain ilmestyviä ponnahdusikkunoita sekä koko ajan näkökentän alaosassa sijaitseva tilanäyttö. Ponnahdusikkunat ilmoittavat esimerkiksi uusista työtehtävistä sekä kertovat työtehtävän loppumisesta. Tilanäytössä näytetään jatkuvasti nykyiset ohjaussuunnat, nosturista päälle kytketyt älyominaisuudet sekä nostettavan taakan paino. Esimerkki käyttöliittymästä on esitetty kuvassa 11, jossa on näkyvillä ruudun alareunassa oleva tilanäyttö sekä ruudun keskellä ponnahdusikkuna. Kuvassa mustalla oleva alue näkyy älylaseilla katsottuna läpinäkyvänä eli siinä näkyy oikea reaalimaailma ilman päälle piirrettyjä elementtejä.

Navigointiavustajan tarkoituksena on helpottaa suuntien hahmottamista tilassa. Normaalisti nosturin ohjaussuunnat ovat staattisia eli niitä ei voi vaihtaa operaattorin aseman tai nostettavan taakan kulkusuunnan mukaan. Nosturin siltapalkkiin on merkitty suuntasymbolit, joita vastaavat symbolit löytyvät ohjainlaitteesta. Aina operaattorit eivät tarkasta ohjaussuuntia symboleista, jolloin operaattorin on hahmotettava oma asemansa (kulma) suhteessa nosturin suuntiin ja päätellä tilanteeseen sopiva ohjaussuunta. Navi-

gointiavustajan ideana on helpottaa suunnan valintaa eri tilanteissa ja vähentää virheellisiä valintoja.

Paikoitustoiminnossa älylasit auttavat käyttäjää tunnistamaan nostotehtävän mukaisen paikoituskohteen (esimerkiksi tietyn varastopaikan tai lastauspisteen nosturin toiminta-alueella) ja ajamaan tähän kohteeseen.

Työtehtävien hallinta pitää sisällään käyttäjän kirjautumisen järjestelmään, uusien työtehtävien tuomisen käyttäjän näkökenttään sekä nykyisen työtehtävän suorittamisen ohjeistamisen. Sovelluksen näkökulmasta työtehtävä koostuu seuraavista osista:

1. Uuden työtehtävän tarjoaminen käyttäjälle.
2. Ajaminen haluttuun kohteeseen paikoitustoiminnon avulla.
3. Taakan nostaminen.
4. Taakan kuljettaminen haluttuun paikkaan paikoitustoiminnon avulla.
5. Taakan kuvaaminen (älylasien kameralla) laadunvarmistusta varten.
6. Suoritettua työtehtävää koskevan raportin näyttäminen.

#### 4.2.3 Toteutustekniikat

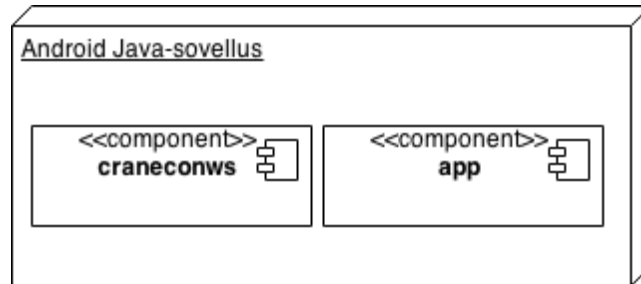
Pilottiprototyypin toteutus aloitettiin käyttäen Unity 3D-pelimoottoria sen helppokäyttöisyyden vuoksi. Ensitestausten jälkeen se kuitenkin osoittautui suorituskyvyltään valituille älylaseille sopimattomaksi: Yksinkertaisen suorituskykytestin avulla havaittiin suoraan Android-käyttöjärjestelmälle Java-ohjelmointikielellä toteutetun sovelluksen suorituskyvyn olevan lähes neljä kertaa suurempi kuin Unity 3D-pelimoottorin avulla toteutetussa sovelluksessa. Suorituskykyä vertailtiin ruudunpäivitysnopeuden avulla. Unity 3D-pelimoottorilla toteutetun sovelluksen ruudunpäivitysnopeus oli noin 6-7 ruutua sekunnissa, kun taas Android Java-sovelluksen nopeus oli noin 25-26 ruutua sekunnissa.

**Taulukko 8:** Toteutukseen valittujen osien vastuualueet

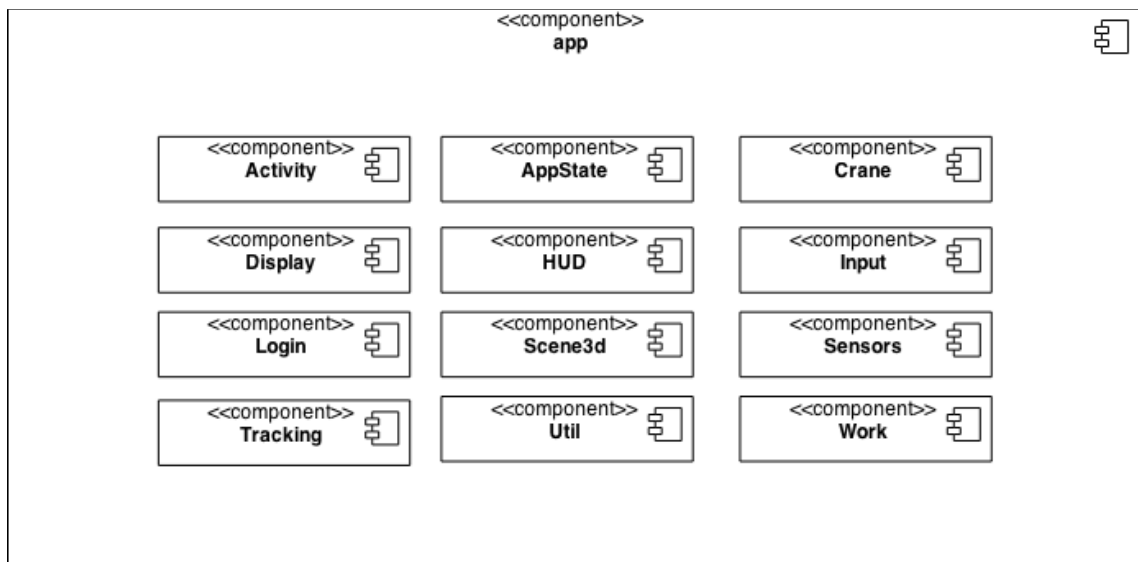
Ohjelmiston osa	Vastuualue
Android Java-sovellus	Sovelluslogiikka, syötteenhallinta, multimediatoiminnallisuus, kommunikointi nosturin kanssa
Metaio-kirjasto	Lisätyn todellisuuden toiminnallisuus, 3D-maailman hallinta ja transformaatiot

Suorituskykyeron vuoksi sovellus päätettiin toteuttaa toteutusteknisesti hieman monimutkaisempana Android Java-sovelluksena. Sovelluksessa käytettiin lisätyn todellisuuden kirjastona Metaio:a, joka sisälsi myös 3D-maailman hallintaan ja transformaatioihin tarkoitettuja osia. Metaio valittiin hyvän dokumentaation vuoksi sekä siksi, että se sisäl-

si tarjolla olevista kirjastoista eniten erilaisia mahdollisuuksia seurannan toteuttamiseen. Valittujen ohjelmiston osien vastuualueet on esitetty taulukossa 8.



**Kuva 12.** Android Java-sovelluksen komponentit



**Kuva 13.** *app*-komponentin alikomponentit



**Taulukko 9:** *app*-komponentin alikomponenttien vastualueet

Alikomponentti	Vastuualue
Activity	Android-käyttöjärjestelmän <i>Activity</i> -komponenttien hallinta
AppState	Ohjelman tilan hallinta
Crane	Kommunikaatio nosturin kanssa käyttäen <i>craneconws</i> -komponenttia
Display	Näyttölaitteen (älylasit) hallinta
HUD	Reaalimaailman suhteen rekisteröimättömän käyttöliittymän hallinta
Input	Käyttäjän syötteen hallinta
Login	Sovellukseen kirjautumisen hallinta
Scene3d	Reaalimaailman suhteen rekisteröityjen käyttöliittymän osien ja 3D-mallien hallinta
Sensors	Älylasien kiihtyvyyssanturin, gyroskoopin ja magnetometrin hallinta
Tracking	Seurannan hallinta
Util	Tukitoimintoja, kuten esimerkiksi matemaattisia funktiota ja reitinhaku
Work	Työtehtävien hallinta

Toteutettu Java-sovellus koostuu kahdesta komponentista, jotka on esitelty kuvassa 12. Kommunikaatiota nosturin kanssa hoitaa *craneconws*-komponentti, joka kutsuu nosturista löytyvää *WebService*-rajapintaa WLAN-verkon yli. Varsinainen ohjelmalogiikka on toteutettu *app*-komponenttiin, joka koostuu kuvan 13 mukaisesti alikomponenteista. Alikomponenttien vastualueet on esitetty taulukossa 9.

### 4.3 Evaluointi

Työn evaluointi suoritettiin käyttäjätiestien avulla. Testihenkilöinä käytettiin viittä kokenutta nosturioperaattoria, joille tässä työssä kehitetty sovellus ei ollut ennestään tuttu. Testihenkilöiden nosturin käyttökokemus vaihteli 15-38 vuoden välillä (yksi henkilö ei vastannut). Kaikki testihenkilöt kertoivat käyttävänsä nosturia päivittäin muutamia kertoja, mutta ei jatkuvasti. Testiä varten luotiin kaksi eri ajoskenaariota, joilla testattiin sovelluksen eri osia. Jokainen testihenkilö suoritti testin yksin ja testin kokonaiskesto henkilöä kohden oli noin 1 tunti. Testauksessa käytettiin sovelluksen kielenä suomen kieltä.

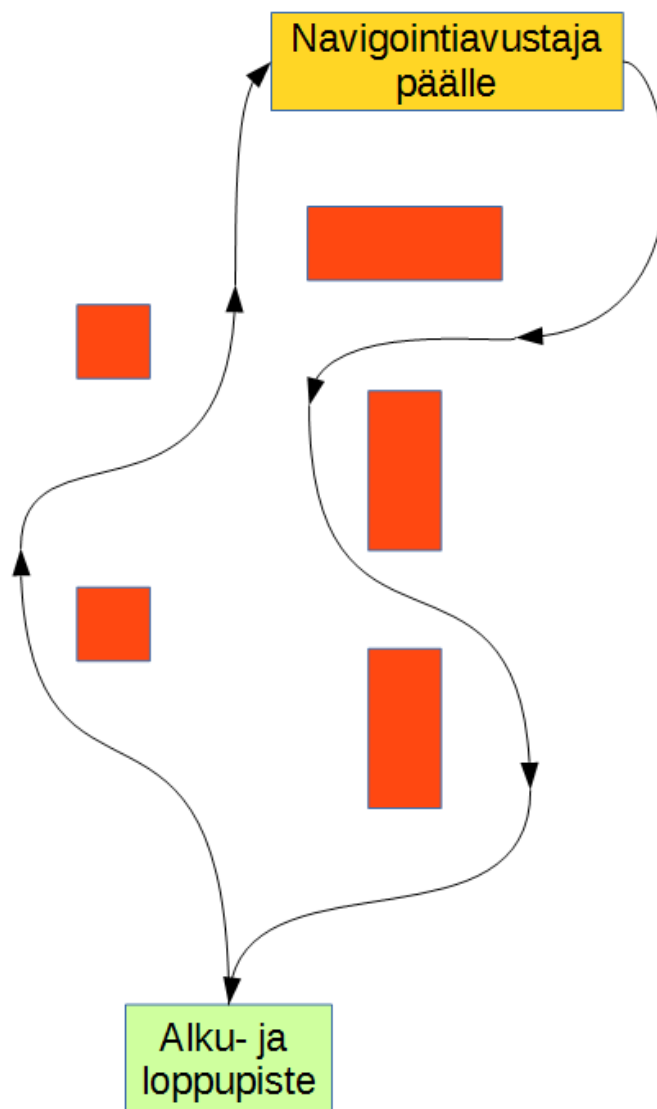
Kokonaisuudessaan testi koostui seuraavista osista jokaista henkilöä kohden:

- Yleisesittely testijärjestelyistä
- Ensimmäinen ajoskenaario ilman älylaseja

- Ensimmäinen ajoskenaario älylasien kanssa
- Toinen ajoskenaario älylasien kanssa
- Kyselylomakkeen täyttäminen
- Haastattelu

#### 4.3.1 Ajoskenaariot

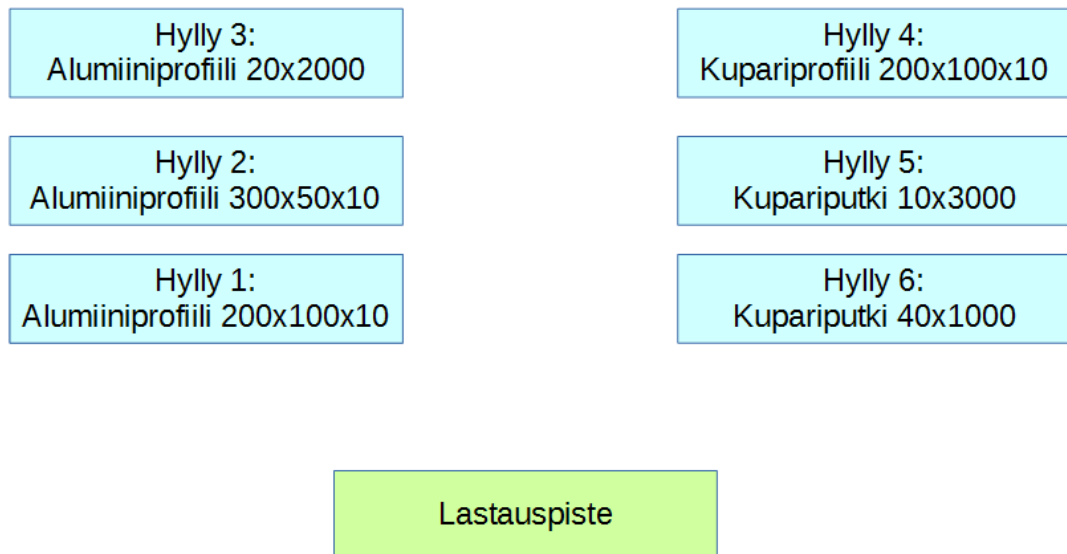
Käyttäjätestejä varten kehitettiin kaksi ajoskenaariota, joilla testattiin sovelluksen eri osia. Ensimmäisessä skenaariossa operaattori ajoi nosturia manuaalisesti, kun taas toisessa skenaariossa käytettiin pääsääntöisesti automaattiajaja.



**Kuva 14.** Ensimmäinen ajoskenaario

Ensimmäisessä skenaariossa testattiin navigointiavustajaa ja samalla tutustutettiin testihenkilö älylasien käyttöön. Navigointiavustajan testaus tapahtui ajamalla nosturin koukua ja siihen kiinnitettyä 60 kilon painoista taakkaa kuvan 14 mukainen rata ensin ilman älylaseja ja sen jälkeen älylasien kanssa. Kuvassa on merkattu vihreällä värillä alku- ja loppupiste, punaisella värillä reitillä olevat esteet ja keltaisella värillä kohta, jossa älylasien kanssa ajettaessa otetaan navigointiavustaja käyttöön. Tämä ensimmäinen ajoskenaario suoritettiin kokonaisuudessaan manuaalisella ajolla, joka tarkoittaa operaattorin hallitsevan kaikkia nosturin liikkeitä joystick-ohjaimen avulla. Ensimmäisen ajoskenaariion vaiheet olivat:

1. Taakan kiinnittäminen koukkuun aloituspisteessä.
2. Taakan ajaminen merkittyä reittiä pitkin.
3. Jos ajetaan lasien kanssa, testihenkilölle ohjeistetaan navigointiavustajan käyttö kuvassa näkyvässä pisteessä.
4. Taakan ajaminen takaisin alkupisteeseen.



**Kuva 15.** Toinen ajoskenaario

Toisessa ajoskenaariossa testattiin sovelluksen tehtävähallintaosiota sekä älylasiavusteista paikoitustoimintoa. Ajoa varten luotiin järjestely, jossa simuloitiin varastohyllyjä sekä yksittäistä lastauspistettä, johon varastohyllyistä kerättävät tavarat tuotiin. Kuvassa 15 on esitetty kartta järjestelystä. Toinen ajo suoritettiin pääosin automaattisella ajolla (älylasiavusteinen paikoitustoiminto), mutta koukun ja taakan tarkka sijoittaminen noston alku- ja loppuvaiheissa tehtiin manuaalisesti. Testeissä vaiheet 2-8 toistettiin kaksi kertaa, jonka jälkeen ajo lopetettiin.

Toisen ajoskenaarion vaiheet olivat:

1. Kirjautuminen järjestelmään henkilökortin avulla.
2. Siirtotehtävän vastaanottaminen.
3. Nosturin koukun siirtäminen oikean hyllyn luo käyttäen älylasiavusteista paikoitus-toimintoa.
4. Taakan kiinnittäminen koukkuun.
5. Taakan siirtäminen lastauspisteeseen käyttäen älylasiavusteista paikoitustoimintoa.
6. Taakan irrottaminen koukusta.
7. Taakan kuvaaminen.
8. Tehtäväraportin lukeminen ja kuittaus.
9. Ajon lopettaminen.

#### 4.4 Tiedon keräys ja analysointi

Käyttäjätesteissä käytettiin kolmea eri tiedonkeräystapaa. Tiedonkeräystavat ja niiden käyttötarkoitukset on esitetty taulukossa 10.

**Taulukko 10:** Tiedonkeräystavat

Tiedonkeräystapa	Käyttötarkoitus
Anturidatamittaukset	Turvallisuus
Kysely	Käyttömukavuus
Haastattelu	Käyttömukavuus, turvallisuus, haasteet

Pääasiallisena keräystapana käytettiin haastattelua. Haastattelun tukena käytettiin kuhunkin käyttötarkoitukseen sopivia tiedonkeräystapoja eli turvallisuuden osalta anturidatamittausta ja käyttömukavuuden osalta kyselylomaketta.

##### 4.4.1 Anturidatamittaukset

Anturidatamittauksissa kerättiin dataa koukun liikkeistä (x-, y- ja z-akselit) sekä käyttäjän painamista ohjauspainikkeista. Tarkemmat määritteet datasta on esitetty taulukossa 11.

**Taulukko 11:** Kerätyn anturidatan tietotyypit

Kerätty data	Tietotyyppi
Koukun x-koordinaatti	Kokonaisluku
Koukun y-koordinaatti	Kokonaisluku
Koukun z-koordinaatti	Kokonaisluku
OK-näppäimen painallus	Boolean-arvo

Suunnankääntö-näppäimen painallus	Boolean-arvo
Aja kohteeseen-näppäimen painallus	Boolean-arvo
Eteenpäin-näppäimen painallus	Boolean-arvo
Taaksepäin-näppäimen painallus	Boolean-arvo
Vasemmalle-näppäimen painallus	Boolean-arvo
Oikealle-näppäimen painallus	Boolean-arvo
Ylös-näppäimen painallus	Boolean-arvo
Alas-näppäimen painallus	Boolean-arvo
Aikaleima	Timestamp-arvo

Datan keräys tehtiin puolen sekunnin välein. Anturidatamittausta käytettiin vain ensimmäisen ajoskenaarion aikana, sillä toinen ajoskenaarioruoritettiin pääosin automaattiajolla, jossa anturidatan analysointi kerättyjen muuttujien osalta on turhaa.

Ajettaessa nosturia manuaalisesti ajosuunnat ovat perinteisesti kiinteät eli ne eivät millään tavoin mukaudu käyttäjän ajoasentoon. Turvallisuuden kannalta tämä voi aiheuttaa tilanteita, jossa nosturia ohjataan vahingossa väärään suuntaan, jonka seurauksena operaattori pyrkii korjaamaan suunnan nopealla vastakkaissuuntaisella ohjauskäskyllä.

Dataa analysoitiin vertaamalla ilman älylaseja tehtyä ajoa älylasien kanssa ajettuun. Turvallisuuteen liittyvä vertailu tehtiin tutkimalla, kuinka älylasien käyttö vaikutti käännösten määrään, kuinka usein tehtiin nopeita korjausliikkeitä sekä kuinka paljon käytettiin lyhyitä ohjausliikkeitä.

Käännösten määrä laskettiin vertaamalla peräkkäisten, aikaleiman perusteella järjestettyjen, data-alkioden ohjauskäskyjä toisiinsa. Mikäli niiden arvo oli muuttunut, laskettiin tämä käännökseksi. Taulukossa 12 on esitetty esimerkki laskutavasta.

**Taulukko 12:** Esimerkki käännösten laskemisesta

Ohjauskäsky (alaindeksissä aikaleima)	Arvo
vasen <sub>1</sub>	tos
vasen <sub>1,5</sub>	tos
vasen <sub>2</sub>	<i>epätosi</i>
vasen <sub>2,5</sub>	<i>tos</i>

→ 2 käännöstä

Korjausliikkeiden määrä laskettiin vertaamalla ohjausliikkeiden nopeaa ääriasentojen vaihtelua. Ääriasentojen vaihtelussa verrattiin ohjauskäskyjä pareina eteenpäin-taakse-

päin ja vasemmalle-oikealle. Mikäli ohjauskäskyt vaihtuivat yhden sekunnin aikana ääriasennosta toiseen, laskettiin se nopeaksi vaihdokseksi. Taulukossa 13 on esitetty esimerkki laskutavasta.

**Taulukko 13:** Esimerkki korjausliikkeiden laskemisesta

Aikaleima (sekuntia)	Oikealle-ohjauskäskyn arvo	Vasemmalle-ohjauskäskyn arvo
0,5	<i>tos</i>	epätosi
1	epätosi	<i>tos</i>
1,5	epätosi	epätosi
2	epätosi	epätosi
2,5	tos	epätosi

→ 1 korjausliike

Lyhyiden ohjausliikkeiden määrä laskettiin vertaamalla perättäisten samaan suuntaan kohdistuvien ohjausliikkeiden väliä. Mikäli tietynsuuntainen ohjausliike otettiin pois päältä ja kytkettiin uudestaan päälle yhden sekunnin aikana, laskettiin se lyhyeksi ohjausliikkeeksi. Taulukossa 14 on esitetty esimerkki laskutavasta.

**Taulukko 14:** Esimerkki lyhyiden ohjausliikkeiden laskemisesta

Ohjauskäsky (alaindeksissä aikaleima)	Arvo
vasen <sub>0,5</sub>	<i>tos</i>
vasen <sub>1</sub>	<i>epätosi</i>
vasen <sub>1,5</sub>	<i>tos</i>
vasen <sub>2</sub>	epätosi
vasen <sub>2,5</sub>	epätosi
vasen <sub>3</sub>	tos

→ 1 lyhyt ohjausliike

Käännösten, nopeiden korjausliikkeiden ja lyhyiden korjausliikkeiden määrä laskettiin jokaisen testihenkilön kohdalta ilman älylaseja ja älylasien kanssa tehtyjen ajojen osalta. Tämän jälkeen laskettiin kunkin määrän muutosprosentti näiden kahden ajon välillä. Lopulta näitä muutosprosentteja käytettiin kaikkien testihenkilöiden keskiarvon laskemiseen. Muutosprosentteja käytettiin keskiarvon laskemiseen, koska kaikki tutkittavat asiat ovat operaattorin ajotavasta riippuvia, mutta vertailtaessa absoluuttisilla luvuilla vain saman operaattorin kahta ajoa (älylaseilla ja ilman) voidaan ajotavan vaikutus tuloksiin minimoida.

#### 4.4.2 Kysely

Kysely tehtiin heti operaattorin suoritettua kummatkin testiajot. Kysely oli muodoltaan SUS-kysely (engl. system usability scale), jonka avulla oli tarkoitus selvittää sovelluksen käytettävyyttä. SUS-kyselyn ideana on saada arvioitavan sovelluksen käytettävyyttä koskevia tuloksia nopeasti ja luotettavasti. Nopeudella pyritään siihen, että testihenkilöiden ei tarvitse käyttää pitkää aikaa kyselyn täyttämiseen, jolloin keskittyminen kyselyyn on helpompaa. (Brooke 1996, ss. 2–3)

Kysely koostuu kymmenestä käytettävyyteen liittyvästä väittämästä, joiden paikkansapitävyyttä testihenkilö arvioi merkkamalla lomakkeeseen oman mielipiteensä skaalalla 1 (täysin eri mieltä) – 5 (täysin samaa mieltä). SUS-kyselyssä väittämät pysyvät aina samoina eli ne eivät muutu testattavan sovelluksen mukaan. Väittämät on muotoiltu niin, että joka toinen väittämä on positiivinen ja joka toinen negatiivinen, jolloin testihenkilön on pakko lukea jokainen kysymys tarkasti (Brooke 1996, s. 3). Kyselyssä käytetty lomake on esitetty liitteessä 5.

SUS-kyselyn tulokseksi saadaan yksittäinen vertailuluku välillä 0 – 100. Vertailuluku saadaan laskemalla yksittäisten kysymysten pisteiden summa ja kertomalla se luvulla 2,5. Yksittäisten kysymysten pistemäärä määräytyy sen mukaan, onko kyseessä positiivinen vai negatiivinen kysymys. Positiivisissa kysymyksissä (kysymykset 1, 3, 5, 7 ja 9) pistemäärä lasketaan vähentämällä saadusta tuloksesta 1. Negatiivisissa kysymyksissä (kysymykset 2, 4, 6, 8 ja 10) pistemäärä lasketaan vähentämällä saatu tulos luvusta viisi. Esimerkki laskutavasta on esitetty taulukossa 15.

**Taulukko 15:** Esimerkki SUS-kyselyn vertailuluvun laskemisesta

Kysymys	Tulos	Pistemäärä
1	4	$4 - 1 = 3$
2	1	$5 - 1 = 4$
3	3	$3 - 1 = 2$
4	2	$5 - 2 = 3$
5	5	$5 - 1 = 4$
6	3	$5 - 3 = 2$
7	1	$1 - 1 = 0$
8	5	$5 - 5 = 0$
9	2	$2 - 1 = 1$
10	3	$5 - 3 = 2$

$$\rightarrow (3 + 4 + 2 + 3 + 4 + 2 + 0 + 0 + 1 + 2) * 2,5 = 52,5$$

Yksittäisten eri tarkoituksiin rakennettujen järjestelmien käytettävyyden vertailu toisiinsa nähden ei ole järkevää, sillä käytettävyys riippuu paljon sovelluksen kontekstista (Brooke 1996, s. 1). Sauro (2011) on vertaillut tutkimuksessaan 500 eri järjestelmään toteutettuja SUS-kyselyitä, ja saanut kyselyiden vertailulukujen keskiarvoksi 68. Luku ei edusta absoluuttista totuutta käytettävyydestä, mutta tässä tutkimuksessa sitä käytetään arvioimaan, onko ohjelma käytettävyydeltään hyvä (vertailuluku  $> 68$ ) vai huono (vertailuluku  $\leq 68$ ).

#### 4.4.3 Haastattelu

Kyselyn jälkeen suoritettiin haastattelu, joka oli muodoltaan teemahaastattelu. Teemahaastattelussa haastattelija keskustelee haastateltavan kanssa etukäteen pohdittujen ja määriteltyjen haastattelukysymysten avulla. Haastattelu ei ole kuitenkaan rakenteeltaan tarkkaan määritelty vaan haastattelukysymyksillä pyritään johdattelemaan haastateltavaa kertomaan omista kokemuksistaan. (Tilastokeskus 2015)

Haastattelu jaettiin kuuteen eri aihealueeseen (yleinen, tutustumisajo, tehtävähallinta-ajo, turvallisuus, käyttömukavuus, ongelmat), joista kukin sisälsi kahdesta neljään kysymystä. Kysymykset pyrittiin muodostamaan mahdollisimman avoimiksi, jotta kysymykset eivät rajoittaisi testihenkilöiden vastauksia. Haastattelun runko (aihealueet ja yksittäiset kysymykset) on esitetty liitteessä 6.

Haastatteluun oli varattu aikaa 15 minuuttia ja todelliset kestot vaihtelivat 14-23 minuutin välillä. Haastattelut nauhoitettiin ja litteroitiin myöhemmin nauhoitusten perusteella. Koska tässä työssä raportointi tehtiin aihealueittain (turvallisuus, käyttömukavuus, haasteet), analyysivaiheessa litteroiduista haastatteluista muodostettiin näitä aihealueita vastaavat ryhmät. Ryhmiin kerättiin jokaisesta haastattelusta ne osat, jotka liittyivät kyseiseen aihealueeseen.



## 5 TUTKIMUSTULOKSET

Tässä luvussa käsitellään käyttäjätesteistä sekä sovelluksen toteutuksen aikana saatuja tuloksia turvallisuuden, käyttömukavuuden ja ongelmien osalta. Turvallisuutta arvioidaan nosturista saadun anturidatan sekä haastattelun avulla. Käyttömukavuutta arvioidaan testihenkilöillä teetetyyn SUS-kyselyn sekä haastattelun avulla. Nosturiympäristön haasteita älylasisovellukselle arvioidaan teknisestä näkökulmasta toteutuksen aikana kohdattujen haasteiden sekä haastattelussa saatujen tietojen avulla. Haasteita sosioteknisestä näkökulmasta arvioidaan haastattelusta saatujen tietojen avulla.

### 5.1 Turvallisuus

Turvallisuusarvioinnissa käytetty anturidatan analysointi on toteutettu tätä työtä varten kehitettyjen vertailulukujen avulla. Vertailuluvut perustuvat operaattorin ohjauskäskyistä kerättyyn dataan. Vertailulukujen perusteella arvioidaan operaattorin ajon ennakoitavuutta, jonka perusteella turvallisuuden katsotaan joko lisääntyvän tai vähenevän. Ajon ennakoitavuutta arvioidaan vertailulukujen määrän prosentuaalisen muutoksen avulla.

Turvallisuusarvioinnin toinen osuus on toteutettu testihenkilöiden haastatteluista koostetun datan analyysillä. Turvallisuus on abstrakti käsite, jota on hankala arvioida absoluuttisesti, joten yksiselitteistä vastausta kysymykseen turvallisuuden parantumisesta ei luonnollisesti haastattelujen perusteella voida saada. Haastatteluiden analyysissä onkin keskitytty tutkimaan testihenkilöiden huomioita turvallisuutta parantavista sekä huonontavista seikoista.

#### 5.1.1 Anturidata

Anturidataa kerättiin vain manuaalista ajoa testaavassa ensimmäisessä ajoskenaariossa. Yhdeltä testihenkilöltä ei saatu kerättyä ilman laseja ajettua vertailudataa, joten anturidatavertailu on tehty neljän testihenkilön ajojen perusteella.

Taulukossa 16 on esitetty anturidatasta saadut arvot edellä esitetyille vertailuluville joista testihenkilöä kohden. Arvoista voidaan nähdä, että lähes kaikki vertailuluvut ovat pienentyneet älylaseilla ajettaessa merkittävästi: Ainoastaan testihenkilön 2 osalta korjausliikkeiden määrä nousi älylaseilla ajettaessa.

**Taulukko 16:** Testihenkilöiden vertailuluvut

<b>Vertailuluku (keskimäärin)</b>	<b>Ilman älylaseja</b>	<b>Älylasien kanssa</b>	<b>Muutosprosentti</b>
<b>Testihenkilö 1</b>			
Käännösten määrä	71	57	-20%
Korjausliikkeiden määrä	0	0	0%
Lyhyiden ohjausliikkeiden määrä	23	17	-26%
<b>Testihenkilö 2</b>			
Käännösten määrä	110	80	-27%
Korjausliikkeiden määrä	2	3	50%
Lyhyiden ohjausliikkeiden määrä	39	20	-48%
<b>Testihenkilö 3</b>			
Käännösten määrä	25	21	-16%
Korjausliikkeiden määrä	4	1	-75%
Lyhyiden ohjausliikkeiden määrä	0	0	0%
<b>Testihenkilö 4</b>			
Käännösten määrä	43	36	-16%
Korjausliikkeiden määrä	0	0	0%
Lyhyiden ohjausliikkeiden määrä	7	6	-14%

**Taulukko 17:** Anturidatasta saadut vertailuluvut

<b>Vertailuluku</b>	<b>Muutosprosentti (keskimäärin)</b>
Käännösten määrä	-19,75%
Korjausliikkeiden määrä	-6,25%
Lyhyiden ohjausliikkeiden määrä	-22%

Keskiarvoprosentit kunkin vertailuluvun osalta on esitetty taulukossa 17. Kun käännösten, korjausliikkeiden sekä lyhyiden ohjausliikkeiden määrä vähenee, on ajo ennalta arvattavampaa ja se näin ollen vaikuttaa positiivisesti turvallisuuteen.

Tuloksia analysoitaessa on myös otettava huomioon testiasetelma: Skenaariossa ajettiin täysin sama reitti kaksi kertaa peräkkäin, jolloin mahdollisesti toisella ajokerralla reitti oli jossain määrin tutumpi. Vaikka jonkinlaista reitin oppimista todennäköisesti tapah-

tuikin, voidaan sen vaikutuksia pitää pienenä, sillä reitti oli suoraviivainen eikä se sisältänyt yllätyksiä testihenkilöille. Lisäksi testihenkilön suorittaessa ajoa ohjeistettiin häntä jatkuvasti reitin osalta niin, ettei reittiä tarvinnut muistaa ulkoa ajon aikana.

### 5.1.2 Haastattelut

Testihenkilöiden mukaan yleisellä tasolla älylasien käyttö itsessään ei heikentänyt nosturilla operoinnin turvallisuutta. Ongelmia kuitenkin saattaa aiheuttaa, varsinkin alussa, tottuminen älylaseihin ja siihen, että näkökentässä on jatkuvasti tarjolla informaatiota. Tällöin on vaarana, että älylaseihin tottumaton operaattori kiinnittää liikaa huomiota sovelluksen tarjoamaan informaatioon, jolloin keskittyminen varsinaiseen työtehtävään kärsii.

Tilanäytön sijainti ruudun alalaidassa koettiin hyväksi, sillä se ei häirinnyt ympäristön havainnointia, mutta oli kuitenkin helposti saatavilla, kun tuli tarve katsoa sen tarjoamaa informaatiota. Kaikki testihenkilöt kokivat tilanäytöllä olevan taakan painoilmaisimen olevan turvallisuusnäkökulmasta erittäin hyödyllinen, sillä sen avulla voi helposti nähdä mikäli ollaan nostamassa liian painavia esineitä. Ajettaessa kohteeseen paikoitustoiminnon avulla tilanäytössä näkyvä etäisyys maalipisteeseen koettiin myös hyödylliseksi ja turvallisuutta parantavaksi.

Navigointiavustajan turvallisuusongelmat olivat selkeitä: Suurin osa henkilöistä piti toimintaa turvallisuusriskinä etenkin alkuvaiheessa, kun uuteen ohjaustapaan ei ole totuttanut. Pitkään perinteisillä staattisilla suunnilla työtä tehneille operaattoreille ohjaustavan muutos saattaa olla hankala opetella. Kuitenkin ominaisuuden katsottiin tarjoavan myös turvallisuusetua, kunhan alkuvaiheen ongelmista on päästy yli.

Älylasiavusteinen paikoitustoiminto, jossa hyödynnettiin automaattiajtoa, sekä paransi että heikensi turvallisuutta. Automaattiajon hyötynä manuaaliseen ajoon verrattuna on nosturin reitinhaku, joka ottaa huomioon myös hallissa olevat esteet mikäli ne on määriteltä nosturin asetuksiin. Nosturin ajaessa automaattisesti ilman käyttäjän tarvetta manuaalisille ohjausliikkeille, pystyy käyttäjä paremmin havainnoimaan ympäristöään ja pysäyttämään nosturin tarvittaessa. Kuitenkin paikoitustoiminnon haittapuolena on, että operaattorin pitää itse olla tarkkana ettei nosturi liiku häntä itseään tai muita henkilöitä kohti tai osu tavaroihin, joita reitiltä löytyy, sillä nosturin kulloinkin laskema optimaalinen reitti ei ole operaattorin tiedossa.

Kokonaisuudessaan älylasisovelluksen ominaisuudet lisäsivät testihenkilöiden mielestä jossain määrin turvallisuutta, kunhan sovelluksen käyttöä on mahdollista ensin harjoitella tarpeeksi.

## 5.2 Käyttömukavuus

Käyttömukavuuden arvioinnissa käytettiin SUS-kyselyä, jonka perusteella arvioitiin sovelluksen käytettävyys hyväksi tai huonoksi. Lisäksi SUS-kyselyn yksittäisten kysymysten perusteella tehtiin analyysiä sovelluksen puutteista. Haastatteluosuudessa arvioitiin sovelluksen eri ominaisuuksien tarpeellisuutta ja käyttökelpoisuutta testihenkilöiden nykyisessä työssä.

### 5.2.1 SUS-kysely

SUS-kyselyn vertailulukujen keskiarvoksi saatiin 75,5 ja mediaaniksi 80 (vaihteluvälinä 62,5 – 80). Tämän mittarin mukaan sovellus oli käytettävyydeltään hyvä, sillä se ylitti aiemmin esitetyn keskimääräisen SUS-vertailuluvun (68).

Kyselyn yksittäisten kysymysten osalta järjestysnumeroltaan parittomien eli positiivisten kysymysten tulosten keskiarvoksi saatiin 4,32 pistettä. Keskiarvosta eniten poikkeava tulos saatiin kysymykseen yhdeksän (vastausten keskiarvo 3,8), joka koski luottamusta järjestelmään. Järjestysnumeroltaan parillisissa eli negatiivisissa kysymyksissä keskiarvoksi saatiin 2,28. Negatiivisissa kysymyksissä eniten keskiarvosta poikkesi kysymys neljä (vastausten keskiarvo 3,8), joka koski järjestelmän käyttämisen aloittamiseen tarvittavaa teknisen henkilön apua. Voidaan huomata, että eniten keskiarvosta poikkeavat kysymykset koskivat ensisijaisesti järjestelmän teknisiä ominaisuuksia ja luottamusta niiden toimintaan.

### 5.2.2 Haastattelut

Yleisellä tasolla sovellusta pidettiin testihenkilöiden ennako-odotuksia helppokäyttöisempänä. Osa henkilöistä käytti silmälaseja, jolloin älylasien sijoittaminen sopivasti silmälasien eteen asetti haasteita. Kaikki testihenkilöt kuitenkin kertoivat nähneensä älylasien tarjoaman kuvan selkeästi.

Navigointiavustajan käyttömukavuus sekä hyödyllisyys jakoi mielipiteitä testiryhmän sisällä. Pitkään staattisella suunnalla (nykyinen ajotapa) ajaneille operaattoreille toiminnallisuus tuntui aluksi epäloogiselta. Kuitenkin neljä viidestä testihenkilöstä piti toiminnallisuutta hyödyllisenä ja piti mahdollisena, että kyseinen ominaisuus otettaisiin käyttöön henkilön nykyisessä työpisteessä.

Tehtävähallintaominaisuutta ja siihen liittyvää älylasivusteista paikoitustoimintoa pidettiin työtä helpottavana ja virheitä vähentävänä varastotyötä ja keräilyä sisältävissä työtehtävissä. Testihenkilöistä yksikään ei tehnyt päätoimisesti varastotyötä, joten yhtä henkilöä lukuun ottamatta kaikki pitivät ominaisuuden käyttöönottoa omalla työpisteel-

lään epätodennäköisenä. Kuitenkin myös testihenkilö, joka piti käyttöönottoa mahdollisena, epäili järjestelmällä saavutettavia hyötyjä pieniksi verrattuna nykyiseen työtapaan.

Testihenkilöiden mukaan älylasisovelluksen hyödyllisimmät ominaisuudet nykyisen työn kannalta olivat laadunvarmistusvalokuva, navigointiavustaja sekä nostettavan esineen painon näyttäminen.

### **5.3 Haasteet nosturiympäristössä**

Vaikka älylasien kehitys on ollutkin nopeaa, on käyttö etenkin teollisuusympäristössä teknisestä näkökulmasta vielä hankalaa. Prototyypisovelluksen toteuttamisen perusteella suurimmat käyttöönoton esteet ovatkin tällä hetkellä teknisiä. Haastattelujen perusteella käyttöönoton esteenä on myös sosioteknisiä ongelmia, mutta ne ovat pääsääntöisesti ratkaistavissa koulutuksella ja kattavalla testauksella.

#### **5.3.1 Tekniset**

Suurimmat tekniset haasteet kohdistuivat käyttäjän katseen seurantaan reaali maailman suhteen. Seurannan ongelmaksi muodostui Epson-älylasien kameran epätarkkuus: Sovelluksessa käytettävä seuranta perustuu pääosin optiseen seurantaan, joten kameran laatu vaikuttaa suuresti seurannan onnistumiseen. Seuranta koetettiin toteuttaa niin muotojen (pistepilvet, kaksiulotteiset kuvat) kuin seurantamerkkienkin avulla. Lisäksi seuranta yritettiin vakauttaa toteuttamalla hybridiseuranta älylasien antureiden sekä testi ympäristön sisätilapaikannuksen avulla. Näillä tekniikoilla käyttäjän sijainnin seuranta onnistui kohtuullisen tarkasti, mutta orientaation seuranta aiheutti ongelmia. Orientaatiota ei saatu vakautettua, joka aiheutti reaali maailman suhteen rekisteröityjen 3D-mallien epävakautta ja tärinää. Lisäksi seuranta koetettiin täysin toisesta näkökulmasta käyttäen LSD-SLAM-algoritmia (Schöps et al. 2014). Algoritmi kuitenkin osoitautui liian raskaaksi Epson-älylaseille. Lopulta toteutuksessa päädyttiin käyttämään hybridiseurantaa, joka toteutettiin käyttämällä useita seurantamerkkejä ja älylasien sensoridataa. Seurannan epätarkkuuden vuoksi alkuperäiseen esitysprototyyppiin suunniteltuja turva-alueiden sekä ajokohteiden visualisointia ei otettu lainkaan käyttöön vaan ne korvattiin visuaalisella kohteeseen ajolla, jossa seurannan epätarkkuus ei aiheuttanut niin suuria ongelmia.

Toinen laitteistoon liittyvä ongelma oli älylasien akkukesto. Erityisesti testitilanteessa akku tyhjeni muutamassa tunnissa (2-4 tuntia). Tästä johtuen laitteistoa ei sellaisenaan voida käyttää tuotantokäytössä, jossa tarvittava akkukesto on vähintään yhden työvuoron pituus eli noin 6-8 tuntia.

Käyttäjätiestien yhteydessä tehdyssä haastattelussa testihenkilöt toivat esiin sovelluksen konfiguraatioon liittyviä teknisiä haasteita. Automaattiajossa käytettävän reitin hakemisessa on syytä kiinnittää huomiota muiden työntekijöiden, työvälineiden sekä esineiden sijaintiin, jotta vältetään törmäyksiltä. Ongelma tosin koskee myös ilman älylaseja tapahtuvaa automaattista kohteeseen ajoa. Ongelman ratkaisu ei ole triviaalia ja edellyttää jonkinlaista dynaamista havainnointia esimerkiksi konenäön avulla.

Testihenkilöt toivat myös esiin, että sovelluksen pitäisi olla tietoinen varastohyllyjen sijainnista sekä sisällöstä reaaliaikaisesti. Sovelluksen pitäisi siis olla reaaliaikaisesti yhteydessä esimerkiksi yrityksen ERP-järjestelmään sekä hallikartan tarjoavaan järjestelmään.

### 5.3.2 Sosiotekniset

Testihenkilöiden haastattelujen perusteella älylasien käyttö ei tuottanut minkäänlaisia fyysisiä ongelmia, kuten särkyä nenässä, korvissa tai silmissä. On kuitenkin huomioitava, että testiskenaariot kestivät yhteensä vain noin 20-30 minuuttia, jolloin todellisia ongelmia voi olla hankala havaita ja arvioida. Testihenkilöt kertoivat käyttävänsä työssään jatkuvasti suojalaseja, joten älylasien käyttö oli luontevaa. Verrattaessa älylaseja suojalaseihin kehysten pienempi koko rajoitti näkökenttää. Silmälaseja käyttävät henkilöt joutuivat sijoittamaan älylasit silmälasiansa eteen, joka oli jossain määrin kömpelöä. Lisäksi erityisesti silmälasia käyttävät henkilöt joutuivat säätämään lasit tarkasti niin, että ne pysyivät tukevasti paikallaan.

Suurimpana ongelmana sovelluksen käyttöönotossa nähtiin sovelluksen toimintavarmuus: Käyttäjän on pystyttävä luottamaan, että sovellus noudattaa täsmällisesti jokaista käyttäjän antamaa käskyä ja varmistettava käyttäjälle tarjottavan informaation oikeellisuus. Tämä tuli erityisesti esiin kahden ensimmäisen testihenkilön tapauksessa, jolloin sovelluksessa esiintyi ongelmia toisen ajoskenaarion loppuvaiheessa. Ongelmat saatiin kuitenkin korjattua viimeisten kolmen testihenkilön ajoihin. Kolme viimeistä testihenkilöä eivät haastattelutilanteessa tuoneet toimintavarmuuden ongelmia esiin.

Ongelmana nähtiin myös muutosvastarinta uudenlaista tekniikkaa kohtaan. Muutosvastarintaa ei kuitenkaan pidetty suurena ongelmana mikäli käyttöön otettava sovellus osoittautuu hyödylliseksi ja työntekoa helpottavaksi.

Myös uuden toiminnallisuuden opettelu koettiin ongelmaksi. Tämä korostui valituissa testiskenaarioissa, sillä sovelluksen tarjoamat toiminnot eroavat suuresti manuaaliseen ajoon useiden vuosien ajan tottuneiden operaattoreiden nykyisestä käyttötavasta. Tästä huolimatta kaikki testihenkilöt uskoivat älylasisovelluksen käyttöönottoon operaattorin apuna tulevaisuudessa muodossa tai toisessa.

## 6 YHTEENVETO

Tässä luvussa esitetään tutkimuksen johtopäätökset eli käydään läpi saadut tulokset korkealla tasolla. Tämän jälkeen arvioidaan tutkimuksen onnistumista reliabiliteetin ja validiteetin kannalta. Lisäksi arvioidaan tutkimuksen onnistumista suunnittelutieteellisenä tutkimuksena käymällä läpi luvussa 1.3.1 esitettyjen suunnittelutieteellisen tutkimuksen yleisohjeiden noudattamista tässä tutkimuksessa. Lopuksi listataan mahdollisia jatkotutkimusaiheita.

### 6.1 Johtopäätökset

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää älylaseilla toimivan lisätyn todellisuuden sovelluksen tuomia hyötyjä nosturioperaattorin työhön. Hyötyjä tutkittiin pääasiallisesti turvallisuuden ja käyttömukavuuden näkökulmista. Koska valmista älylasisovellusta nosturioperaattorin työn tueksi ei ollut saatavilla, työn lähtökohtana oli prototyypisovelluksen rakentaminen ja siihen toteutettujen toiminnallisuuksien evaluointi. Evaluointi suoritettiin käyttäjätestillä, jossa sovellusta testasi viisi kokenutta (>15 vuotta kokemusta) nosturioperaattoria. Tutkimuksessa käsiteltiin hyötyjen lisäksi myös sovelluksen käyttöönottoon liittyviä haasteita teknisestä sekä sosioteknisestä näkökulmasta.

Turvallisuutta arvioitiin analysoimalla operaattorin tekemiä ohjaukskäskyjä käänös-, korjaus- ja lyhyiden ohjausliikkeiden osalta sekä haastatteleamalla testihenkilöitä. Ohjaukskäskyjä analysoitiin vertaamalla ilman älylaseja suoritettua ajoa älylasien kanssa suoritettuun ajoon. Analyysissä saatiin selville kaikkien kolmen tutkitun ohjausliikkeen määrän pienentyminen ajettaessa älylaseilla. Määrien pienentyminen viittaa helpommin ennakoitavaan ajoon ja näin ollen myös turvallisuuden lisääntymiseen. Haastatteluissa testihenkilöt kertoivat uudenlaisen toimintatavan aiheuttavan turvallisuusongelmia etenkin alkuvaiheessa, joten harjoitteluun on syytä varata reilusti aikaa. Ongelmat koskivat erityisesti sekä manuaali- että automaattiajoa helpottavia navigointiavustajaa sekä paikoitustoimintoa. Toisaalta testihenkilöiden mielestä erityisesti tilanäyttö toi turvallisuushyötyjä lähes välittömästi: Jokainen testihenkilöistä mainitsi erityisesti nostettavan taakan painoilmaisimen hyödyllisyydestä, sillä sen avulla on helppo huomata taakan mahdollinen ylipaino.

Ohjausliikkeiden määrien pienentyminen mukailee myös Schwerdtfeger et al. (2011) sekä Reif & Walch (2008) saamia tutkimustuloksia, joiden mukaan lisätyn todellisuuden

sovelluksella on mahdollista vähentää työn aiheuttamaan kognitiivista kuormitusta. Myös tilanäytön hyödyllisyys tukee luvussa 2.3.1 esiteltyjä kirjallisuuslähteitä. Olwal et al. (2008) esittivät näkökenttään tuodun reaaliaikadatan helpottavan työhön keskittymistä, vaikka asiaa ei varsinaisesti evaluoitu käyttäjätiestien avulla. Tässä tutkimuksessa saadut tulokset kuitenkin tukevat väitettä. Myös testihenkilöiden mainitsemat ongelmat vastaavat osittain kirjallisuudesta löydettyjä: Uuden käyttötavan opettelu vaatii aikaa ja harjoitusta. Varsinaiset turvallisuusongelmat eivät kuitenkaan kirjallisuudessa nousseet esiin.

Muiden tutkimusten tapaan (esimerkiksi Regenbrecht et al. 2002; Gurevich et al. 2012) myös tässä tutkimuksessa testihenkilöt suhtautuivat prototyypisovellukseen positiivisesti. Sovelluksen käyttömukavuutta arvioitiin SUS-kyselyllä sekä haastatteluilla. SUS-kyselystä saatujen tulosten perusteella sovellus oli käytettävyydeltään hyvä. Haastattelut tukivat tätä tulosta, sillä kaikki testihenkilöt ilmoittivat sovelluksen olevan ennakkoodotuksia helppokäyttöisempi. Suurin osa (4/5) testihenkilöistä piti navigointiavustajaa työtä helpottavana ja pitivät kyseisen toiminnallisuuden käyttöönottoa mahdollisena tulevaisuudessa omalla työpisteellään. Tehtävähallinta sekä älylasivusteinen paikoitus-toiminto koettiin myös helpottavaksi, joskin vain yksi testihenkilöistä piti ominaisuuksien käyttöönottoa mahdollisena omalla työpisteellään. Käyttöönottoa ei nähty tarpeelliseksi, sillä kaikki testihenkilöt ilmoittivat käyttävänsä nosturia muuhun kuin varastonhallintaan. Sovelluksen hyödyllisimmät ominaisuudet olivat testihenkilöiden mukaan laadunvarmistusvalokuva, navigointiavustaja sekä taakan painon näyttäminen.

Sovelluksen käyttöönottoon liittyviä teknisiä haasteita arvioitiin prototyypisovelluksen toteutuksen yhteydessä sekä käyttäjätiestien aikana vastaan tulleiden haasteiden avulla. Suurimmaksi tekniseksi haasteeksi muodostui käytettyjen älylasien kameran huono laatu, jonka vuoksi seuranta oli hankala toteuttaa vakaasti. Toinen merkittävä ongelma oli älylasien akkukesto, joka oli vain noin 2-4 tuntia. Kohdatut haasteet vastasivat pitkälti luvussa 3.5.1 esitettyjä aiemmissa tutkimuksissa ilmenneitä haasteita. Älylasien tekniikka kehittyi kuitenkin kovaa vauhtia, joten tässä tutkimuksessa esiintyneet tekniset ongelmat voidaan todennäköisesti unohtaa tulevaisuudessa.

Sosioteknisiä haasteita selvitettiin haastatteleamalla operaattoreita. Erityisen usein haastattelun aikana mainittiin täysin uudenlaisen toimintatavan opettelu, sillä kaikki testihenkilöt olivat tottuneet käyttämään perinteistä ohjaustapaa. Ongelma nousi esiin myös luvun 3.5.2 kirjallisuuskatsauksessa, jossa syyksi mainitaan lisätyn todellisuuden alan nuoruus sekä tästä johtuva käyttöliittymästandardien puute. Muita esiin nousseita ongelmia olivat sovelluksen toimintavarmuus sekä käyttöönoton muutosvastarinta. Testihenkilöt kuitenkin pitivät näitä vähäisempinä ongelmina, jotka on mahdollista ratkaista riittävän testauksen sekä sovelluksen helppokäyttöisyyden avulla. Toimintavarmuus on lä-



hes kääntäen verrannollinen teknisten ongelmien määrään, joten laitteistojen ja ohjelmistojen kehittyessä tästä ongelmasta todennäköisesti tullaan pääsemään eroon. Muutosvastarinnasta ja sen syistä on tehty paljon tutkimusta, joita esitettiin luvussa 3.5.2, joten sen aiheuttamat ongelmat ovat kohtalaisen hyvin tiedossa. Tämä tukee testihenkilöiden huomiota ongelman vähäisyydestä, sillä tiedostamalla muutosvastarinnan syyt on niihin helpompi myös varautua.

Fyysisesti älylasit eivät aiheuttaneet ongelmia, sillä testihenkilöt olivat tottuneita suojalasiin käyttöön. Kuitenkin silmälasien ja älylasien yhteiskäyttö oli kömpelöä sekä älylasien kehysten koko rajoitti jossain määrin näkökenttää. Luvussa 3.5.2 esitelty silmien väsyminen älylasien käytön seurauksena ei ainakaan tässä tutkimuksessa noussut ongelmaksi.

Kokonaisuudessaan tutkimuksessa saatiin selvitettyä vastaus päätutkimuskysymykseen sekä alatutkimuskysymyksiin. Prototyypisovellus toi jo tällaisenaan hyötyjä nosturioperaattorin työhön ja sen rakentamiseen liittyvät tekniset ja sosiotekniset haasteet tulivat selviksi. Älylasilaitteistojen ja tekniikoiden kehittyessä sekä jatkokehittämällä prototyypisovellusta, voidaan sen pohjalta rakentaa myös tuotantokäyttöön soveltuva sovellus. Myös kaikki käyttäjätesteihin osallistuneet testihenkilöt olivat varmoja älylasisovelluksien käyttöönotosta ja hyödyllisyydestä tulevaisuudessa.

## 6.2 Tutkimuksen arviointi

Tämän tutkimuksen onnistumista tutkitaan arvioimalla sen reliabiliteettia ja validiteettia. Lisäksi tarkastellaan kuinka hyvin tutkimus seurasi suunnittelutieteellisen tutkimuksen yleisohjeiden seitsemää vaatimusta.

Olkkosen (1993, ss. 38–39) mukaan käytettäessä hermeneuttista tutkimusotetta reliabiliteetin arvioiminen on hankalaa ja se pitäisikin käsittää tutkimustuloksen toistettavuutena. Tämän työn osalta tiedonkeruu perustui suurelta osin haastatteluihin, joten tässä mielessä tutkimustulosten toistettavuus sellaisenaan on tuskin täysin saavutettavissa. Kuitenkin tutkimuksen toistaminen tarkasti tässä työssä esiteltyjä metodeja käyttäen tuo todennäköisesti hyvin samankaltaiset tulokset kuin nyt on saatu.

Validiteetilla tarkoitetaan tutkimuksessa käytetyn mittarin tarkoituksenmukaisuutta (Olkkonen 1993, s. 39). Tässä työssä nosturioperaattorin työhön kohdistuvien hyötyjen mittareina käytettiin turvallisuutta sekä käyttömukavuutta. Mittarit ovat tarkoituksenmukaisia etenkin kun tutkimuksen näkökulmana oli nosturioperaattorin päivittäinen työ eikä esimerkiksi työtehokkuuden parantaminen. Haasteet luokiteltiin teknisiin ja sosio-

tekniisiin, jolloin saatiin selville niin sovelluksen rakennusvaiheen kuin käyttöönottovaiheen haasteita.

Suunnittelutieteellisen tutkimuksen ensimmäisen yleisohjeen mukaan artefaktin on oltava hyödyllinen ratkaisu käytännön ongelmaan. Tässä työssä ongelmana oli nosturioperaattorin työn tukeminen älylasisovelluksen avulla. Rakennettu prototyypisovellus oli tutkimustulosten mukaan hyödyllinen ja nosturioperaattorin työtä helpottava.

Toinen yleisohje vaatii tutkimuksen ongelman olevan relevantti kohdeyleisön kannalta. Ongelma oli relevantti sekä nostinlaitteita valmistavan yrityksen sekä varsinaisten nosturioperaattoreiden kannalta. Yrityksen kannalta tutkimuksessa selvisi yleisellä tasolla älylasisovelluksen positiivinen vaikutus nosturin käyttöön sekä tietämys sovelluksen rakennustavasta sekä teollisuusympäristön haasteista sovelluksen kannalta. Nosturioperaattorille tutkimus oli relevantti, koska sillä pyrittiin tukemaan ja helpottamaan operaattoreiden päivittäistä työtä.

Kolmas yleisohje kehottaa artefaktin käyttökelpoisuuden, laadun ja vaikutuksen tarkkaan evaluointiin. Tässä työssä evaluointi suoritettiin pääosin haastatteluilla, mutta tukena käytettiin myös kvantitatiivista data-analyysiä sekä käyttäjäkyselyä. Erityisesti toteutetun prototyypisovelluksen käyttökelpoisuuden sekä laadun evaluointi voidaan katsoa onnistuneen tarkasti, sillä testihenkilöt olivat kokeneita. Sen sijaan vaikutuksen arviointia voidaan pitää epätarkempana, sillä testeihin osallistui vain viisi henkilöä.

Neljäs yleisohje vaatii, että tutkimuksesta syntyy jonkinlainen tieteellinen kontribuutio. Tutkimuksen pääkontribuutiona voidaan pitää rakennettua prototyypisovellusta. Kuitenkin sovelluksen rakentaminen sekä evaluointi on tässä työssä raportoitu tarkasti, joten kontribuutiona voidaan pitää myös tietämystä artefaktin rakenteesta sekä sen evaluoinnista.

Viidennen yleisohjeen mukaan artefaktin rakentaminen ja evaluaatio on suoritettava tarkasti määrätyillä menetelmillä. Artefaktin rakentamisessa käytettiin ohjelmistoteknisestä näkökulmasta ketterän kehityksen mallia, jossa kehitys jaettiin 1-2 viikon mittaisiin sykleihin. Evaluoinnin osalta valmiita menetelmiä älylasisovelluksen tarkasteluun ei ollut saatavilla, joten menetelmät kehitettiin tätä työtä varten. Menetelmien kehittämisen jälkeen niistä pidettiin kiinni, joten tässä suhteessa työ täyttää yleisohjeen vaatimukset.

Kuudes yleisohje kehottaa artefaktin iteratiiviseen parantamiseen. Tässä työssä käytettiin iteratiivista toimintamallia ensin jo suunnitteluvaiheessa, jossa määriteltiin korkealla tasolla prototyypisovellukselta vaadittavat toiminnallisuudet. Tässä apuna käytettiin käyttötapausdokumenttia, jota paranneltiin iteratiivisesti yhteistyössä tilaajan ja toteutta-

jan kesken. Myös varsinainen prototyypisovelluksen toteutus tehtiin iteratiivisesti 1-2 viikon sykleissä.

Seitsemäs yleisohje kehottaa esittämään tulokset niin, että sekä teknisesti että liiketoiminnallisesti orientoituneet henkilöt voivat ymmärtää lopputuloksen. Luvun 5 tulokset on pyritty esittämään niin helppotajuisesti, että ne eivät vaadi erityisymmärrystä niin tekniikan kuin liiketoiminnankaan suhteen. Tulosten ymmärtäminen vaatii kuitenkin lukijalta tietämystä käsiteltävästä liiketoiminta-alueesta ja työympäristöstä. Riittävä tietämyksen taso kuitenkin muodostuu lukemalla tämä tutkimus kokonaisuudessaan läpi.

### 6.3 Jatkotutkimusaiheet

Tässä työssä pyrittiin etsimään älylasisovelluksen tuomia yleisiä hyötyjä nosturioperaattorin työn tueksi. Kaikki toteutetut ominaisuudet ovat kuitenkin prototyypiesteella, joten minkä tahansa sovelluksen neljästä pääominaisuudesta (tilanäyttö, navigointiavustaja, älylasiavusteinen paikoitustoiminto tai työtehtävien hallinta) jatkokehitys tuo kiinnostavia kysymyksiä jatkotutkimusta varten. Jatkotutkimuksessa näkökulmaa voidaan myös vaihtaa ja keskittyä esimerkiksi käytettävyyden arviointiin ja parantamiseen. Lisäksi tässä työssä teknisten haasteiden vuoksi hylätyt ominaisuudet, kuten operaattorille normaalisti näkymättömien alueiden näyttäminen tai paikoituksen avustaminen graafisesti, ovat kiinnostavia aiheita älylasitekniikan kehittyessä tulevaisuudessa. Erityisesti syvyysensoreiden yleistyessä älylaseissa helpottuu tässä työssä haasteelliseksi muodostunut seurannan vakauttaminen huomattavasti.

Sovelluksen hyötyjä tarkasteltiin ensisijaisesti nosturioperaattorin näkökulmasta, joten sovelluksen arviointi esimerkiksi kustannussäästöjen ja työtehokkuuden näkökulmasta voisivat olla liikkeen- tai työnjohdolle kiinnostavia jatkotutkimusaiheita. Liikkeenjohtoa kiinnostava tutkimuskohde saattaa olla myös järjestelmän käyttöönotto- sekä käyttökustannuksien tutkiminen. Myös esimerkiksi älylasien ergonomian tutkiminen päivittäisessä pitkäaikaisessa käytössä tuo tärkeää tietoa mikäli sovellus halutaan ottaa tuotantokäyttöön.

Yritysten sisäisten tietojärjestelmien, kuten ERP-järjestelmän, integroiminen älylasisovelluksen kanssa tuo useita kiinnostavia haasteita, joiden pohjalta jatkotutkimusta voi tehdä paljonkin. Esimerkiksi tehtävähallinnan integrointi yrityksen sisäiseen ERP-järjestelmään ja sen myötä vertailu perinteisen ja kokonaan älylaseilla toimivan järjestelmän välillä voisivat olla tutkimuksen aiheena. Toisaalta tutkimus voi koskea myös integroinnin haasteita ja niiden ratkaisuja, jolloin lisätty todellisuus jää toissijaiseksi tutkimuskohteeksi.

## LÄHTEET

Abrahamsson, P. , Salo, O. , Ronkainen, J. , & Warsta, J. 2002. Agile software development methods - Review and analysis. 478. Espoo, Suomi. VTT.

Arthur, K. W. 2000. Effects of Field of View on Performance with Head-mounted Displays. The University of North Carolina at Chapel Hill.

Augmented World Expo 2014. 2014 Auggie Awards™ Finalists Announced! Who Will Win the Big Prizes? Augmented World Expo.  
<http://augmentedworldexpo.com/news/2014-auggie-awards-finalists-announced/>,  
 viitattu 24.3.2015.

Azuma, R. 1997. A Survey of Augmented Reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments 6(4) ss.355–385.

Azuma, R. , Bailiot, Y. , Behringer, R. , et al. 2001. Recent advances in augmented reality. IEEE Computer Graphics and Applications 21(6) ss.34–47.

Baker, S. L. 1987. Managing resistance to change. Critical issues in library personnel management: Papers presented at the 29th Allerton Park Institute. Urbana, Il: Graduate School of Library and Information Technology ss.53–61.

Barras, R. 1986. Towards a theory of innovation in services. Research Policy 15(4) ss.161–173.

Billinghurst, M. 2003. No More Wimps: Designing Interfaces for the Real World. Proceedings of the 4th Annual Conference of the ACM Special Interest Group on Computer-Human Interaction ss. 5–8. CHINZ '03. New York, NY, USA. ACM.

Blum, J. R. , Bouchard, M. , & Cooperstock, J. R. 2012. What's around Me? Spatialized Audio Augmented Reality for Blind Users with a Smartphone. Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking, and Services. Alessandro Puiatti & Tao Gu, toim. ss. 49–62. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, 104. Berlin. Springer.

Boring, S. , Jurmu, M. , & Butz, A. 2009. Scroll, Tilt or Move It: Using Mobile Phones to Continuously Control Pointers on Large Public Displays. Proceedings of the 21st Annual Conference of the Australian Computer-Human Interaction Special Interest Group: Design: Open 24/7 ss. 161–168. OZCHI '09. New York, NY, USA. ACM.

Brooke, J. 1996. SUS-A quick and dirty usability scale. Usability evaluation in industry 189(194) ss.4–7.

- Caudell, T. P. , & Mizell, D. W. 1992. Augmented reality: an application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences, 1992 ss. 659–669 vol.2.
- Craig, A. B. 2013. Understanding Augmented Reality: Concepts and Applications. 1 edition. Amsterdam. Morgan Kaufmann.
- Fite-Georgel, P. 2011. Is there a reality in Industrial Augmented Reality? 2011 10th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR) ss. 201–210.
- Floyd, C. 1984. A Systematic Look at Prototyping. Approaches to Prototyping. Reinhard Budde, Karin Kuhlenkamp, Lars Mathiassen, & Heinz Züllighoven, toim. ss. 1–18. Springer Berlin Heidelberg.
- Forster, C. , Pizzoli, M. , & Scaramuzza, D. 2014. SVO: Fast semi-direct monocular visual odometry. 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) ss. 15–22.
- Furht, B. 2011. Handbook of Augmented Reality. 2011 edition. New York. Springer.
- Genc, Y. , Tuceryan, M. , & Navab, N. 2002. Practical Solutions for Calibration of Optical See-Through Devices. Proceedings of the 1st International Symposium on Mixed and Augmented Reality s. 169–. ISMAR '02. Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- Ginters, E. , & Cirulis, A. 2013. Markerless Outdoor AR-RFID Solution for Logistics. Procedia Computer Science 25 ss.80–89.
- Grubert, J. , & Grasset, D. R. 2013. Augmented Reality for Android Application Development. Birmingham, U.K. Packt Publishing.
- Gurevich, P. , Lanir, J. , Cohen, B. , & Stone, R. 2012. TeleAdvisor: A Versatile Augmented Reality Tool for Remote Assistance. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems ss. 619–622. CHI '12. New York, NY, USA. ACM.
- Henderson, S. J. , & Feiner, S. K. 2007. Augmented reality for maintenance and repair (armar). DTIC Document.
- Hevner, A. , & Chatterjee, S. 2010. Design Research in Information Systems: Theory and Practice. 2010 edition. New York ; London. Springer.
- Hevner, A. , March, S. , Park, J. , & Ram, S. 2004. Design science in information systems research. MIS quarterly 28(1) ss.75–105.
- Hirschheim, R. , & Newman, M. 1988. Information systems and user resistance: theory and practice. The Computer Journal 31(5) ss.398–408.

Hugues, O. , Fuchs, P. , & Nannipieri, O. 2011. *New Augmented Reality Taxonomy: Technologies and Features of Augmented Environment*. Springer.

Kalkofen, D. , Sandor, C. , White, S. , & Schmalstieg, D. 2011. *Visualization Techniques for Augmented Reality*. *Handbook of Augmented Reality*. Borko Furht, toim. ss. 65–98. Springer New York.

Kanbara, M. , & Yokoya, N. 2004. Real-time estimation of light source environment for photorealistic augmented reality. *Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition, 2004. ICPR 2004* ss. 911–914. Vol.2.

Klein, G. , & Murray, D. 2007. *Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces*. *Proceedings of the 2007 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality* ss. 1–10. ISMAR '07. Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.

Konecranes Suomi 2015. Yleisesittely. Konecranes Suomi.  
<http://www.konecranes.fi/tietoa-konecranesista/yleisesittely>, viitattu 18.6.2015.

Kotter, J. P. , & Schlesinger, L. A. 1979. *Choosing strategies for change*. Harvard Business Review.

van Krevelen, D. , & Poelman, R. 2010. *A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations*. *The International Journal of Virtual Reality* 9(2) ss.1–20.

Latta, J. N. , & Oberg, D. J. 1994. *A conceptual virtual reality model*. *IEEE Computer Graphics and Applications* 14(1) ss.23–29.

Leonard, J. J. , & Durrant-Whyte, H. F. 1991. *Simultaneous map building and localization for an autonomous mobile robot*. *IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems '91. 'Intelligence for Mechanical Systems, Proceedings IROS '91* ss. 1442–1447 vol.3.

Lichter, H. , Schneider-Hufschmidt, M. , & Züllighoven, H. 1993. *Prototyping in Industrial Software Projects - Bridging the Gap Between Theory and Practice*. *Proceedings of the 15th International Conference on Software Engineering* ss. 221–229. ICSE '93. Los Alamitos, CA, USA. IEEE Computer Society Press.

Ligorio, G. , & Sabatini, A. M. 2013. *Extended Kalman Filter-Based Methods for Pose Estimation Using Visual, Inertial and Magnetic Sensors: Comparative Analysis and Performance Evaluation*. *Sensors* 13(2) ss.1919–1941.

Lindegger, R. 2013. *Handheld Augmented Reality*. Paper esitetty tilaisuudessa Distributed System Seminar FS 2013, Zurich.

Luqi, & Steigerwald, R. 1992. *Rapid software prototyping*. *Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences, 1992* ss. 470–479 vol.2.

- Mann, S. 1994. Mediated reality. TR, 260. Cambridge, Massachusetts, USA. M.I.T. Media Lab Perceptual Computing Section.
- Mann, S. 2002. Mediated reality with implementations for everyday life. Presence Connect, MIT Press journal PRESENCE: Teleoperators and Virtual Environments 6.
- Martínez, H. , Fabry, T. , Laukkanen, S. , Mattila, J. , & Tabourot, L. 2014. Augmented reality aiding collimator exchange at the LHC. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 763 ss.354–363.
- Matsuoka, H. , Onozawa, A. , & Hosoya, E. 2002. Environment mapping for objects in the real world: a trial using ARToolKit. Augmented Reality Toolkit, The First IEEE International Workshop.
- Ma, Z. , Qiao, Y. , Lee, B. , & Fallon, E. 2013. Experimental evaluation of mobile phone sensors. Signals and Systems Conference (ISSC 2013), 24th IET Irish ss. 1–8.
- Milgram, P. , & Kishino, F. 1994. A taxonomy of mixed reality visual displays. IEICE Transactions on Information Systems(Vol E77-D, No.12) ss.1321–1329.
- Milgram, P. , Takemura, H. , Utsumi, A. , & Kishino, F. 1995. Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum. Telemanipulator and Telepresence Technologies ss. 282–292. Boston.
- Mullen, T. 2011. Prototyping Augmented Reality. 1 edition. Indianapolis, USA. Sybex.
- Nakanishi, M. , Ozeki, M. , Akasaka, T. , & Okada, Y. 2007. Human factor requirements for Applying Augmented reality to manuals in actual work situations. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2007. ISIC ss. 2650–2655.
- Narumi, T. , Kajinami, T. , Tanikawa, T. , & Hirose, M. 2010. Meta Cookie. ACM SIGGRAPH 2010 Emerging Technologies ss. 18:1–18:1. SIGGRAPH '10. New York, NY, USA. ACM.
- Navab, N. 2004. Developing killer apps for industrial augmented reality. IEEE Computer Graphics and Applications 24(3) ss.16–20.
- Nee, A. Y. C. , Ong, S. K. , Chryssolouris, G. , & Mourtzis, D. 2012. Augmented reality applications in design and manufacturing. CIRP Annals - Manufacturing Technology 61(2) ss.657–679.
- Newcombe, R. A. , Lovegrove, S. J. , & Davison, A. J. 2011. DTAM: Dense Tracking and Mapping in Real-time. Proceedings of the 2011 International Conference on Computer Vision ss. 2320–2327. ICCV '11. Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.

- Normand, J.-M. , & Moreau, G. 2012. DoF-based Classification of Augmented Reality Applications. Paper esitetty tilaisuudessa IEEE ISMAR workshop “Classifying the AR presentation space”, Atlanta, USA.
- Nurminen, A. , Järvi, J. , & Lehtonen, M. 2014. A Mixed Reality Interface for Real Time Tracked Public Transportation.
- Nystrom, R. 2014. Game Programming Patterns. 1 edition. Genever Benning.
- Ohshima, T. , Kuroki, T. , Yamamoto, H. , & Tamura, H. 2003. A Mixed Reality System with Visual and Tangible Interaction Capability - Application to Evaluating Automobile Interior Design. Proceedings of the 2Nd IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality s. 284–. ISMAR '03. Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- Okumura, B. , Kanbara, M. , & Yokoya, N. 2006. Augmented Reality Based on Estimation of Defocusing and Motion Blurring from Captured Images. Proceedings of the 5th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality ss. 219–225. ISMAR '06. Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- Olkkonen, T. 1993. Johdatus teollisuustalouden tutkimustyöhön. Espoo, Suomi. Teknillinen korkeakoulu.
- Olwal, A. , Gustafsson, J. , & Lindfors, C. 2008. Spatial augmented reality on industrial CNC-machines.
- Oreg, S. 2003. Resistance to change: developing an individual differences measure. *Journal of applied Psychology* 88(4) s.680.
- Oskiper, T. , Samarasekera, S. , & Kumar, R. 2012. Multi-sensor navigation algorithm using monocular camera, IMU and GPS for large scale augmented reality. 2012 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR) ss. 71–80.
- Peffer, K. , Tuunanen, T. , Rothenberger, M. , & Chatterjee, S. 2007. A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. *J. Manage. Inf. Syst.* 24(3) ss.45–77.
- Porges, S. 2015. The Problems With Google Glass: A Eulogy. *Forbes*. <http://www.forbes.com/sites/sethporges/2015/01/16/the-problems-with-google-glass-a-eulogy/>, viitattu 25.3.2015.
- Porter, J. E. , & Heppelmann, M. E. 2014. How Smart, Connected Products Are Transforming Competition. *Harvard Business Review*. <https://hbr.org/2014/11/how-smart-connected-products-are-transforming-competition>, viitattu 31.3.2015.
- Porzi, L. , Ricci, E. , Ciarfuglia, T. A. , & Zanin, M. 2012. Visual-inertial tracking on Android for Augmented Reality applications. 2012 IEEE Workshop on Environmental Energy and Structural Monitoring Systems (EESMS) ss. 35–41.



- Rabbi, I. , & Ullah, S. 2013. A Survey on Augmented Reality Challenges and Tracking. *Acta Graphica znanstveni časopis za tiskarstvo i grafičke komunikacije* 24(1-2) ss.29–46.
- Regenbrecht, H. , Baratoff, G. , & Wilke, W. 2005. Augmented reality projects in the automotive and aerospace industries. *IEEE Computer Graphics and Applications* 25(6) ss.48–56.
- Regenbrecht, H. T. , Wagner, M. , & Baratoff, G. 2002. Magicmeeting: A collaborative tangible augmented reality system. *Virtual Reality* 6(3) ss.151–166.
- Reif, R. , & Walch, D. 2008. Augmented & Virtual Reality Applications in the Field of Logistics. *The Visual Computer* 24(11) ss.987–994.
- Sabatini, A. M. 2006. Quaternion-based extended Kalman filter for determining orientation by inertial and magnetic sensing. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 53(7) ss.1346–1356.
- Santos, M. E. C. , Chen, A. , Taketomi, T. , et al. 2014. Augmented Reality Learning Experiences: Survey of Prototype Design and Evaluation. *IEEE Transactions on Learning Technologies* 7(1) ss.38–56.
- Saunders, M. N. K. , Thornhill, A. , & Lewis, P. 2009. *Research Methods for Business Students*. 5 edition. New York. Prentice Hall.
- Sauro, J. 2011. Measuring Usability with the System Usability Scale (SUS). <http://www.measuringu.com/sus.php>, viitattu 18.6.2015.
- Schneider, K. 1996. Prototypes As Assets, Not Toys: Why and How to Extract Knowledge from Prototypes. *Proceedings of the 18th International Conference on Software Engineering* ss. 522–531. ICSE '96. Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- Schwerdtfeger, B. 2012. *Pick-by-Vision: Bringing HMD-Based Augmented Reality into the Warehouse*. Logos Verlag Berlin.
- Schwerdtfeger, B. , Frimor, T. , Pustka, D. , & Klinker, G. 2006. Mobile Information Presentation Schemes for Supra-Adaptive Logistics Applications. *Advances in Artificial Reality and Tele-Existence*. Zhigeng Pan, Adrian Cheok, Michael Haller, et al., toim. ss. 998–1007. *Lecture Notes in Computer Science*, 4282. Springer Berlin Heidelberg.
- Schwerdtfeger, B. , Reif, R. , Günthner, W. A. , & Klinker, G. 2011. Pick-by-Vision: There Is Something to Pick at the End of the Augmented Tunnel. *Virtual Reality* 15(2-3) ss.213–223.
- Schöps, T. , Engel, J. , & Cremers, D. 2014. Semi-Dense Visual Odometry for AR on a Smartphone. *International Symposium on Mixed and Augmented Reality*.

- Shin, D. H. , & Dunston, P. S. 2008. Identification of application areas for Augmented Reality in industrial construction based on technology suitability. *Automation in Construction* 17(7) ss.882–894.
- Shute, T. 2009. Is it “OMG Finally” for Augmented Reality?: Interview with Robert Rice. <http://www.ugotrade.com/2009/01/17/is-it-%E2%80%9CComg-finally-%E2%80%9D-for-augmented-reality-interview-with-robert-rice/>, viitattu 9.3.2015.
- Siltanen, S. 2012. Theory and applications of marker based augmented reality. Espoo, Suomi. VTT Science 3.
- Specht, M. , Ternier, S. , & Greller, W. 2011. Dimensions of Mobile Augmented Reality for Learning: A First Inventory. *Journal of the Research for Educational Technology (RCET)*(7(1)) ss.17–127.
- Stanislao, J. , & Stanislao, B. C. 1983. Dealing with resistance to change. *Business Horizons* 26(4) ss.74–78.
- Suomela, R. , & Lehtikoinen, J. 2004. Taxonomy for Visualizing Location-Based Information. *Virtual Reality* 8(2) ss.71–82.
- Syberfeldt, A. , Danielsson, O. , Holm, M. , & Ekblom, T. 2014. Augmented Reality at the Industrial Shop-Floor. Augmented and Virtual Reality. Lucio Tommaso De Paolis & Antonio Mongelli, toim. ss. 201–209. *Lecture Notes in Computer Science*, 8853. Springer International Publishing.
- Tang, A. , Owen, C. , Biocca, F. , & Mou, W. 2003. Comparative Effectiveness of Augmented Reality in Object Assembly. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* ss. 73–80. CHI '03. New York, NY, USA. ACM.
- Thorn, A. 2014. Gamasutra: Alan Thorn’s Blog - Is it cheating to use a game engine? [http://www.gamasutra.com/blogs/AlanThorn/20140328/214178/Is\\_it\\_cheating\\_to\\_use\\_a\\_game\\_engine.php](http://www.gamasutra.com/blogs/AlanThorn/20140328/214178/Is_it_cheating_to_use_a_game_engine.php), viitattu 25.3.2015.
- Tilastokeskus 2015. Teemahaastattelu. <https://www.stat.fi/virsta/tkeruu/04/03/>, viitattu 20.6.2015.
- Tönnis, M. , & Plecher, D. A. 2011. Presentation Principles in Augmented Reality - Classification and Categorization Guidelines. Techreport. Technische Universität München.
- Vision Monday 2014. New Study Is Bullish on Growth of Smart Glasses Market. Vision Monday. <http://www.visionmonday.com/eye2/newsletter/3118/content/52083/>, viitattu 31.3.2015.
- VTT 2014. Augmented Reality / 3D Tracking | ALVAR. <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj2/multimedia/alvar/>, viitattu 24.3.2015.

Wang, X. , & Dunston, P. S. 2006. Groupware concepts for augmented reality mediated human-to-human collaboration. Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering 2006(June 14-16) ss.1836–1842.

Webel, S. , Becker, M. , Strieker, D. , & Wuest, H. 2007. Identifying differences between CAD and physical mock-ups using AR. 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2007. ISMAR 2007 ss. 281–282.

Yoshimoto, S. , Hamada, Y. , Tokui, T. , et al. 2010. Haptic Canvas: Dilatant Fluid Based Haptic Interaction. ACM SIGGRAPH 2010 Emerging Technologies. SIGGRAPH '10. New York, NY, USA. ACM.

Zokai, S. , Esteve, J. , Genc, Y. , & Navab, N. 2003. Multiview paraperspective projection model for diminished reality. The Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2003. Proceedings ss. 217–226.

# LIITE 1: KIRJASTOT

Library	Platform support	Tracking technologies	Price	URL
ArpaSDK	Android, iOS, Unity	Marker, Markerless 2D, Markerless 3D, Face, GPS, IR, Sensor	499\$	<a href="http://www.arpa-solutions.net/en/Technology">http://www.arpa-solutions.net/en/Technology</a>
CraftAR	Android, iOS	Markerless 2D	1490 €	<a href="http://catchoom.com/product/craftar/augmented-reality-and-image-recognition/">http://catchoom.com/product/craftar/augmented-reality-and-image-recognition/</a>
Vuforia	Android, iOS, Unity	Marker, Markerless 2D, Markerless 3D, Text	Free *) , 499\$	<a href="https://www.qualcomm.com/products/vuforia">https://www.qualcomm.com/products/vuforia</a>
Metaio	Android, iOS, Unity	Marker, Markerless 2D, Markerless 3D, GPS	Free *) , 4,950€	<a href="http://www.metaio.com/products/sdk/">http://www.metaio.com/products/sdk/</a>
Layar	Android, iOS	Marker, Markerless 2D, Markerless 3D, GPS	Free **), 15 € / cloud target	<a href="https://www.layar.com/">https://www.layar.com/</a>
ARToolkit	Platform independant +)	Marker, Markerless 2D	Free ***) , 1995 \$/commercial	<a href="http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/">http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/</a> <a href="http://www.artoolworks.com/products/artoolkit-for-mobile/">http://www.artoolworks.com/products/artoolkit-for-mobile/</a>
ALVAR	Platform independant +)	Marker, Markerless 2D, Markerless 3D	Free ****)	<a href="http://virtual.vtt.fi/virtual/proj2/multimedia/alvar/">http://virtual.vtt.fi/virtual/proj2/multimedia/alvar/</a>
*) Free with watermark				
**) Free with ads				
***) Free for open source use				
****) LGPL License				
+) As long as platform has a C/C++-compiler				

## LIITE 2: PELIMOOTTORIT

Engine	Price	Programming languages	Official Vuforia-support	Official Metaio-support	Android-support	Other platform support	URL
Unreal Engine 4	Free *	C++	no	no	yes	Microsoft Windows, Linux, OS X, Xbox One, PlayStation 4, HTML5, iOS, Oculus Rift, Ouya	<a href="https://www.unrealengine.com">https://www.unrealengine.com</a>
Unity 3D	Free *	C#	yes	yes	yes	BlackBerry 10, Windows Phone 8, Windows, OS X, Linux, iOS, Web, Adobe Flash, PlayStation 3, PlayStation 4, PlayStation Vita, Xbox 360, Xbox One, Wii U, Wii	<a href="http://unity3d.com/">http://unity3d.com/</a>
CryEngine	Paid	C++, Lua	no	no	yes	Microsoft Windows, PlayStation 3, PlayStation 4, Xbox 360, Xbox One, Linux, Wii U, iOS	<a href="http://cryengine.com/">http://cryengine.com/</a>
GameMaker	Free *	GML	no	no	yes	iOS, Android, Windows Phone, Tizen, HTML5, Windows, Mac OSX, Ubuntu, Xbox One, PlayStation@4, PlayStation@Vita or PlayStation@3	<a href="https://www.yoyogames.com/studio">https://www.yoyogames.com/studio</a>
jMonkeyEngine	Free	Java	no	no	yes	iOS, Windows, Mac OS, Linux	<a href="http://jmonkeyengine.org/">http://jmonkeyengine.org/</a>
Marmalade	Free *	C++	no	no	yes	iOS, BlackBerry, Windows Phone 8, Mac OS X, Windows, Tizen, LG TV	<a href="https://www.madewithmarmalade.com">https://www.madewithmarmalade.com</a>
Panda3D	Free	C++, Python	no	no	no	Microsoft Windows, Linux, Mac OS X, FreeBSD	<a href="https://www.panda3d.org/">https://www.panda3d.org/</a>
*) Costs apply after certain thresholds. See homepages for exact information.							

# LIITE 3: ÄLYLASIT

Device	Eyes	Centered view	FOV	Display	Depth camera	RGB-Camera	Controller	OS	Price	Available	Other	URL
Epson BT-200	Both	Yes	23 degree	960x540	-	640x480	Separate controller	Android 4.0.4	\$699	yes		<a href="http://www.epson.com/cgi-bin/Store/jsp/Product.do?sku=V11H560020">http://www.epson.com/cgi-bin/Store/jsp/Product.do?sku=V11H560020</a>
Vuzix M100	Right	No	15 degree	400x240	-	5MPix	Controller, possible to pair smartphone	Android 4.0.4	\$999	yes	No see-through	<a href="http://www.vuzix.com/consumer/products_m100/">http://www.vuzix.com/consumer/products_m100/</a>
ODG R-6	Both	Yes	30 degree	720p	-	1280x720	Touchpad / voice control	Android + ReticleOS	\$4946	yes	"Military grade"	<a href="http://www.osterhoutgroup.com/pr">http://www.osterhoutgroup.com/pr</a>
Google glass	Right	No	14 degree	640x360	-	2528 x 1856	Separate controller	Android 4.4	\$1500	yes		<a href="http://www.vuzix.com/augmented-reality/products_star1200xld/">http://www.vuzix.com/augmented-reality/products_star1200xld/</a>
Vuzix Star 1200XLD	Both	Yes	35 degree	852x480	-	1920x1080	Separate controller	?	\$4999	yes		<a href="http://www.vuzix.com/augmented-reality/products_star1200xld/">http://www.vuzix.com/augmented-reality/products_star1200xld/</a>
Optinvent ORA	Right	Yes	24 degree	640x480	-	5MPix	Touchpad / voice control	Android 4.2.2	699,00 €	yes? (preorder)	Flip-yu feature	<a href="http://www.microsoft.com/microsoft-holdiens/en-us">http://www.microsoft.com/microsoft-holdiens/en-us</a>
Microsoft HoloLens	Both	Yes	?	?	x	x	?	?	?	"End of 2015"		<a href="https://www.getameta.com/">https://www.getameta.com/</a>
Meta 1	Both	Yes	35/23 degree		320x240	1280x720	?	Android?	\$667	August 2015		<a href="https://www.atheerlabs.com/">https://www.atheerlabs.com/</a>
Atheer AIR	Both	Yes	?	?	?	?	?	Android?	?	?		<a href="https://www.youtube.com/watch?v=fy6TIEJTQA">https://www.youtube.com/watch?v=fy6TIEJTQA</a>
Smartglasses	Both	Yes	?	?	?	?	?	Android + ReticleOS	< \$1000	Late 2015		
ODG Consumer glasses	Both	Yes	?	?	?	?	?					
Sony SmartEyeglass	Both	Yes	19 degree	419x138 (8 bit monochrome)	-	3 Mpix	Separate controller	Android 4.4	800,00 €	April 2015		<a href="http://www.vuzix.com/consumer/products_m2000ar/">http://www.vuzix.com/consumer/products_m2000ar/</a>
Vuzix M2000AR	Right	Yes	30 degree	1280x720	-	5 Mpix	Separate controller	-	\$6000	yes, ordering 4-6 weeks		<a href="http://www.vuzix.com/augmented-reality/products_wrap1200xar/">http://www.vuzix.com/augmented-reality/products_wrap1200xar/</a>
Vuzix 1200DXAR	Both	Yes	35 degree	852x480	-	640x480	Separate controller	-	\$1499	yes		<a href="http://www.reconinstruments.com/products/jet/">http://www.reconinstruments.com/products/jet/</a>
Recon Jet Glassup	Right	No	16 degree	428x240	-	no	touchpad	?	\$699	yes		<a href="http://www.glassup.net/">http://www.glassup.net/</a>
	?	?	?	?	?	?	?	?	?	no		<a href="http://www.laforgeoptical.com/techspecs/">http://www.laforgeoptical.com/techspecs/</a>
Shima	?	?	?	?	?	?	?	Linux	?	no		

# LIITE 4: ESIMERKKI KÄYTTÖTAPAUKSESTA

## E-2 Crane has problems while operating

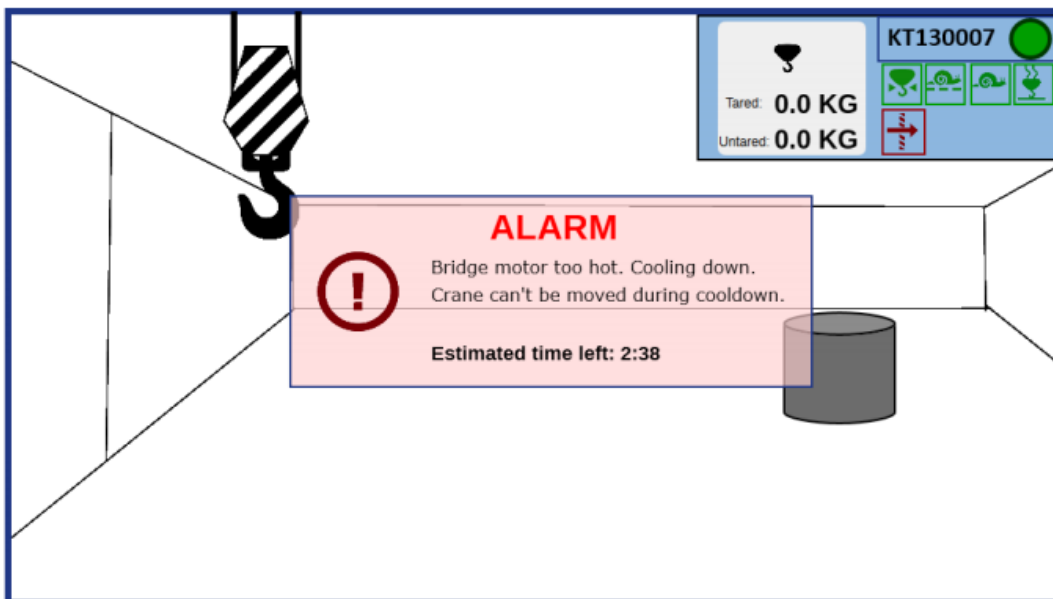
precondition

Crane and AR-system are operational

result

Warning sign about the problem has been shown for user

1. Something exceptional happens inside the crane (ie. motor gets too hot).
2. A warning screen pops up and is shown as long as alarm stays active. See Image 1



E-2: Image 1

## LIITE 5: SUS-KYSELY

Nimi: \_\_\_\_\_

Teollisuusnosturin käyttökokemus: \_\_\_\_\_ vuotta

Smarton-nosturin käyttökokemus: \_\_\_\_\_ vuotta

	Täysin eri mieltä						Täysin samaa mieltä
1. Voisin käyttää järjestelmää säännöllisesti.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	1	2	3	4	5		
2. Järjestelmä on mielestäni tarpeettoman monimutkainen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	1	2	3	4	5		
3. Järjestelmää oli helppo käyttää.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	1	2	3	4	5		
4. Järjestelmän käyttämisen aloittaminen vaatii ohjeistusta ja apua tekniseltä henkilöltä.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	1	2	3	4	5		
5. Järjestelmän eri osat oli liitetty hyvin toisiinsa.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	1	2	3	4	5		
6. Järjestelmä oli liian epäjohdonmukainen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	1	2	3	4	5		
7. Luulen, että useimmat käyttäjät oppivat järjestelmän käytön nopeasti.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	1	2	3	4	5		
8. Mielestäni ohjelman käyttö oli kömpelöä.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	1	2	3	4	5		
9. Luotin järjestelmään käyttäessäni sitä.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	1	2	3	4	5		
10. Minun piti opetella paljon asioita ennen kuin pystyin aloittamaan järjestelmän käytön.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	1	2	3	4	5		



# LIITE 6: HAASTATTELURUNKO (TEEMAHAASTATTELU)

## *Yleinen*

- *Millä tavoin ja kuinka paljon käytät nosturia työssäsi?*
- *Liittyykö nosturin käyttöön mielestäsi ongelmia?*
- *Mikä oli ensivaikutelma järjestelmästä?*
- *Miltä järjestelmän käyttö tuntui?*

## *Tutustumisajo*

- *Millä tavoin suunnankäntöominaisuus vaikutti ajoon?*
- *Pidätkö mahdollisena että vastaava ominaisuus otettaisiin käyttöön työpaikallasi?*

## *Tehtävähallinta-ajo*

- *Millä tavoin työtehtävien (joihin tarvitaan nosturia) hallinta on toteutettu nykyisessä työssäsi?*
- *Miltä AR-järjestelmä tuntui verrattuna nykyisessä työssäsi käytettävään työtapaan?*

## *Turvallisuus*

- *Miten suunnankäntöominaisuus vaikutti?*
- *Miten tehtävähallinta vaikutti?*
- *Miten muu lasien tarjoama informaatio vaikutti?*
- *Älylasien käyttö yleisesti vaikutti?*

## *Käyttömukavuus*

- *Mikä järjestelmän tarjoama lisätieto oli hyödyllisin?*
- *Millaista tietoa haluaisit järjestelmän tarjoavan ja milloin?*
- *Miten järjestelmä voisi helpottaa nykyistä työtäsi?*
  - *Millaiset lisäominaisuudet voisivat helpottaa?*

## *Ongelmat*

- *Millaisia ongelmia havaitsit käyttäessäsi järjestelmää?*
- *Aiheuttiko käyttö fyysisiä ongelmia (kipua ym.)?*
- *Millaisia ongelmia voisit kuvitella ilmenevän järjestelmän käyttöönotossa?*
  - *Entä tuotantokäytössä?*
- *Mikä on mielestäsi tällä hetkellä suurin este järjestelmän käyttöönotolle?*