

Juho Koskinen

**LISÄTYN TODELLISUUDEN HYÖDYNTÄMINEN JA  
KÄYTTÖÖNOTTO TEOLLISUUDESSA**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO  
TIETOJENKÄSITTELYTIETEIDEN LAITOS  
2022

## TIIVISTELMÄ

Koskinen, Juho

Lisätyn todellisuuden hyödyntäminen ja käyttöönotto teollisuudessa

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2022, 102 s.

Tietojärjestelmätiede, pro gradu -tutkielma

Ohjaaja: Pulkkinen, Mirja

Lisätty todellisuus ("AR") on teknologia, jossa reaaliaikaista reaali maailman aistimista täydennetään virtuaalisilla, paikkasidonnaisilla elementeillä. Teollisuudessa AR:ää voi esiintyä esimerkiksi siten, että AR-laite tunnistaa ympäristössä olevan teollisuuskoneen, ja antaa reaaliaikaista tietoa koneen tilasta. Yleisin AR:n käyttötapa tällä hetkellä on AR:n yhdistäminen etätukipalveluihin, joiden avulla etäasiantuntija voi opastaa esimerkiksi kokemattomamman teknikon huoltotehtävän läpi merkatien tämän AR-laitteen reaali maailman näkymään kohteita, joihin fokuoittaa. Edellä kuvailtujen visualisoivien ohjelmistojen lisäksi AR voi tulevaisuudessa itsenäisesti opastaa teknikkoo läpi erinäisten prosessien suorittamisen tunnistamalla kohteita ja toimintoja reaali maailmassa, ja tarjoamalla kontekstisidonnaista informaatiota. Lisäksi AR voi toimia eräänlaisena keskitettynä virtuaalisena käyttöliittymänä erinäisten koneiden ja järjestelmien kontrollointiin.

AR:n keskeisin hyöty on tiedon parempi saatavuus edellä kuvailtuin menetelmin. AR-järjestelmien ohjeistus koetaan helpommin ymmärrettävänä ja intuitiivisempänä kuin perinteiset ohjeistukset esimerkiksi paperimuodossa. Tiedon saatavuus näkyy taloudellisena hyötynä säästöinä ja korkeampana tehokkuutena. AR voi myös mahdollistaa tiettyjä organisaatiotason strategiaan ja transformaatioon liittyviä hyötyjä. Eräänlainen vaatimus hyötyjen realisoitumiselle on kuitenkin integraatio paitsi tuotantolaitteistoon, myös yrityksen kattaviin tietojärjestelmiin ja IT-infrastruktuuriin. Lisäksi yrityksiltä vaaditaan panostuksia IT-resursseihin ja -osaamiseen ohjelmistojen- ja sisällönkehittämisessä, organisaation toiminnan muutoksen edesauttamiseen sekä loppukäyttäjien osallistamiseen. AR:n käyttö teollisuudessa on yhä pitkälti pilottitietien varassa yritysten tutkiessa AR:ää tai seurattaessa AR:n teknistä kehitystä sivusta.

Tässä tutkielmassa tutkimuksen kohteena ovat AR:n teolliset hyödyntämistavat. Tutkielman tavoitteena on kerätä tietoa ja laajentaa ymmärrystä AR:n käyttötavoista, AR:n mahdollistamista hyödyistä ja siitä, kuinka AR tulisi ottaa käyttöön hyötyjen realisoitumiseksi. Tutkielma muodostuu kahdesta osiosta: kirjallisuuskatsauksesta, joissa luodaan teoreettinen perusta, sekä haastatteluiden avulla toteutettavasta empiirisestä osiosta, jossa yhteensä 11 suomalaista teollisuuden sekä IT- ja konsultointialan asiantuntijaa kertovat näkemyksiään ja kokemuksiaan AR:ään liittyen.

Asiasanat: lisätty todellisuus, AR, teollisuus, AR:n hyödyt, AR:n teollinen käyttöönotto

## ABSTRACT

Koskinen, Juho

The Industrial Utilization and Implementation of Augmented Reality

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2022, 102 pp.

Information Systems, Master's Thesis

Supervisor: Pulkkinen, Mirja

Augmented Reality ("AR") is a technology in which real-time, real-world senses are augmented with virtual, location-specific elements. In industrial usage AR can exist for example as so, that an AR device recognizes an industrial machine in its surroundings and gives real-time information about the state of the machine. Currently, the most common use-case for AR is combining AR with remote support services, in which a remote expert can guide for instance an unexperienced service technician through a service task while marking in the technician's field-of-view spots in which to focus. Besides the abovementioned visualizing software, in the future AR can independently guide a technician through the completion of various processes by recognizing objects and actions in the real world, and by providing context-specific information. Additionally, AR can work as a kind-of-a centralized virtual user interface for controlling various machines and systems.

AR's main benefit is the better access to information with the abovementioned techniques. The instructions of AR-systems are seen as more easily understandable and more intuitive than traditional guidance for instance in paper-form. The availability of information is visible as economic benefits in the form of savings and higher productivity. AR can also enable certain organization-level strategic and transformational benefits. However, one type of a prerequisite for the formation of these abovementioned benefits is the integration of AR to shop-floor machinery, information systems and the IT architecture. Also, companies need to invest in IT resources and skills in software and content development, in creating organizational change and in participating end-users. The utilization of AR is still heavily focused on pilot tests while companies investigate AR or follow AR's technical progress from the sidelines.

In this thesis the focus of research is on the industrial utilization of AR. The goal of the thesis is to collect information and expand understanding of the ways in which AR can be used, which benefits the use of AR enables creating and how the implementation of AR should be done to ensure the benefits become realized. The thesis is formed of two sections: the literary review, in which the theoretical foundation is formed, and the empirical part carried out by interviews, in which 11 experts from industrial companies, IT-developers and consultancy companies share their views and experiences regarding AR.

Keywords: augmented reality, AR, industry, benefits of AR, industrial implementation of AR

## KUVIOT

Kuvio 1. Todellisuus-virtuaalisuus jatkumo .....	11
Kuvio 2. Maailmanlaajuiset Google-haut hakusanalla "Augmented Reality" vuosina 2015-2021.....	17
Kuvio 3. Teknologinen perusta ja etenemissuunnitelma AR:n käyttöönotolle..	70

## TAULUKOT

Taulukko 1. AR:n mahdollistamat transaktiohyödyt.....	25
Taulukko 2. AR:n mahdollistamat informaatiohyödyt.....	27
Taulukko 3. AR:n mahdollistamat strategiahyödyt .....	29
Taulukko 4. AR:n mahdollistamat transformaatiohyödyt .....	30
Taulukko 5. AR-lasien teknologiset haasteet.....	33
Taulukko 6. AR-lasien käyttöön liittyvät haasteet.....	34
Taulukko 7. AR-lasein sosiaaliset ja yhteiskunnalliset haasteet .....	36
Taulukko 8. Haastateltujen yritysten kokemat transaktiohyödyt.....	73
Taulukko 9. Haastateltujen yritysten kokemat informaatiohyödyt.....	74
Taulukko 10. Haastateltujen yritysten kokemat strategiahyödyt .....	74
Taulukko 11. Haastateltujen yritysten kokemat transformaatiohyödyt .....	74

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVIOT JA TAULUKOT

1	JOHDANTO.....	7
2	LISÄTTY TODELLISUUS TEKNOLOGIANA.....	10
2.1	Lisätty todellisuus käsitteenä.....	10
2.2	Lisätyn todellisuuden teknologiset ratkaisut .....	12
2.3	Lisätyn todellisuuden markkinapotentiaali.....	15
2.3.1	AR:n hyödyntämisalueita .....	15
2.3.2	AR-markkina.....	16
3	LISÄTTY TODELLISUUS TEOLLISUUDESSA .....	18
3.1	Digitalisoituva teollisuus.....	18
3.2	AR:n käyttötavat ja hyödyt teollisuudessa .....	20
3.2.1	AR:n teolliset sovelluskohteet .....	21
3.2.2	Transaktiohyödyt .....	23
3.2.3	Informaatiohyödyt .....	25
3.2.4	Strategiahyödyt .....	27
3.2.5	Transformaatiohyödyt.....	29
3.3	AR:n haasteet.....	31
3.3.1	Teknologiset haasteet.....	31
3.3.2	Käyttöön liittyvät haasteet .....	33
3.3.3	Sosiaaliset ja yhteiskunnalliset haasteet.....	35
3.4	AR, IT-Infrastrukturi ja taustajärjestelmät.....	36
3.5	Teollisen AR:n nykytila.....	39
4	LISÄTYN TODELLISUUDEN TEOLLINEN IMPLEMENTOINTI .....	41
4.1	Investointipäätöksenteko.....	42
4.2	Konfigurointivaihe .....	44
4.2.1	Laitevalinta.....	44
4.2.2	AR-ohjelmistojen kehittäminen.....	45
4.2.3	AR-sisällön tuottaminen ja hallinta .....	46
4.2.4	Pilotointi .....	48
4.3	Organisaationaalinen yhteensopivuus .....	48
4.4	Käyttäjähyväksyntä .....	50
5	TUTKIMUKSEN KULKU .....	52
5.1	Tutkimusmenetelmä .....	52
5.2	Haastateltavat.....	53
5.3	Haastattelut ja niiden valmistelut .....	55
5.4	Koodaus .....	55
5.5	Analyysi ja kirjoittaminen .....	56

6	EMPIIRISEN AINEISTON ANALYSOINTI.....	57
6.1	Prosessit.....	57
6.1.1	Yritysten omat hankkeet .....	58
6.1.2	AR:n soveltuvuus kokoonpanossa .....	59
6.1.3	AR:n soveltuvuus huollossa .....	59
6.1.4	AR:n soveltuvuus koulutuksessa.....	61
6.1.5	AR:n soveltuvuus muissa tehdastoiminnoissa .....	62
6.2	Laitteet.....	63
6.2.1	AR-lasit .....	63
6.2.2	Mobiililaitteet.....	65
6.2.3	Muut AR-järjestelmät .....	66
6.3	Taustateknologia.....	66
6.3.1	Yhteydet.....	67
6.3.2	Datankeruu ja -hallinta.....	67
6.3.3	Tiedon hyödyntäminen.....	68
6.3.4	Esimerkki: Perustojen luominen AR:lle .....	69
6.4	AR:n hyödyt .....	71
6.4.1	Transaktiohyödyt .....	71
6.4.2	Informaatiohyödyt.....	71
6.4.3	Strategiahyödyt .....	72
6.4.4	Transformaatiohyödyt.....	73
6.4.5	Koetut hyödyt taulukoituna .....	73
6.5	Implementointi.....	75
6.5.1	Investoinnit AR:ään .....	75
6.5.2	Konfigurointi.....	79
6.5.3	Organisaation yhteensopivuus .....	82
6.5.4	Käyttäjähyväksyntä.....	83
7	YHTEENVETO JA POHDINTA .....	86
7.1	Yhteenveto .....	86
7.2	Pohdinta .....	90
7.3	Johtopäätelmät .....	93
	LÄHTEET .....	95

# 1 JOHDANTO

Lisätty todellisuus eli AR ("Augmented Reality") on tulevaisuuden teknologia, joka tarjoaa mielenkiintoisia uusia mahdollisuuksia niin kuluttajien arkeen kuin teollisuuden toimintaan. AR:llä tarkoitetaan reaaliaikaisen reaali maailman näkymän täydentämistä virtuaalisilla elementeillä esimerkiksi graafisesti (Azuma, 1997). AR:ää hyödyntävän järjestelmän välityksellä käyttäjä voi täten havainnoida esimerkiksi virtuaalisia 3D-malleja saumattomana osana reaali maailmaa tai tarkastella AR:n esittämää täydentävää tietoa fyysisistä objekteista. Porter ja Heppelmann (2017a) toteavat, että "AR:llä on potentiaali mullistaa, miten opimme, miten teemme päätöksiä, ja miten toimimme vuorovaikutuksessa fyysisen maailman kanssa".

Laajemmassa kontekstissa AR on osa niin sanottua neljättä teollista vallankumousta, jota usein kutsutaan nimellä Industry 4.0, jonka myötä tehtaiden sanotaan 'älyllistyvän'. Tämä tarkoittaa muun muassa sitä, että uuden teknologian, kuten autonomisten robottien, teollisen esineiden internetiin kytkettyjen koneiden ja sensorien, pilvipalvelujen, big datan ja tekoälyn avulla tehtaan koneet osaavat käsitellä ja analysoida omaa ja muiden koneiden dataa sekä ohjata datan perusteella itseään toimimaan tehokkaammin. Tehokkaamman toiminnan lisäksi yritykset hakevat joustavuutta toimintaansa vastatakseen asiakkaiden monimutkaistuviin tarpeisiin. AR:n roolin uskotaan olevan ennen kaikkea koneiden ja ihmisten välisenä rajapintana tässä alati digitalisoituvassa kokonaisuudessa.

Nykyisellään AR:ää toteutetaan pääasiassa älypuhelimien ja taulutietokoneiden välityksellä, sillä ne tarjoavat AR:n edellyttämät tekniset komponentit ja ovat käytössä maailmanlaajuisesti (Boland, 2021). Mobiililaitteilla hyödynnettävä AR onkin jo yleistynyt kuluttajasovelluksissa sekä jokseenkin teollisessa ympäristössä esimerkiksi etätukiohjelmistoissa. Mobiililaitteiden rajallisen hyödynnettävyyden takia kädet vapauttavat AR-lasit nähdään kuitenkin tulevaisuuden ratkaisuna AR:n yleistymisessä, ja siksi myös tutkijoiden mielenkiinto on siirtynyt yhä enenevässä määrin AR-laseihin teollisessa ympäristössä. Suurista teknologiayrityksistä Microsoft, Meta, Apple ja Google kehittävät omia AR-lasejaan, mikä kertoo potentiaalista, jota johtavat

teknologiakehittäjät näkevät AR:ssä ja AR-laseissa. Rauschnabel, Brem ja Ro (2015) näkevät AR-lasit potentiaalisena älypuhelinien korvaajana.

AR:n yleistymisen hidasteena on kuitenkin lukuisat teknologiset ongelmat, joista keskeisin on fyysisen kohteen seuranta ja virtuaalisen sisällön sijoittaminen oikeaan paikkaan (Danielsson, Holm & Syberfeldt, 2020). AR-lasien kohdalla merkittäviä haasteita on myös näyttöjen kohdalla. Yhdeksi tärkeä kehityskohde on sisällön ankkurointi oikeaan paikkaan, jossa AR:n kypsyyssaste on vielä melko heikko (Danielsson ym., 2020). Lisäksi eri laitteiden omat käyttöön liittyvät haasteensa estävät potentiaalisten hyötyjen realisoitumista. Painavat (Masood & Egger, 2020) ja graafisesti vielä melko epätarkat (Quandt ym., 2018) AR-lasit ovat kaukana silmälasien kaltaisesta lähestulkoon huomaamattomasta apuvälineestä. AR-lasien käyttöön liittyy myös lukuisia sosiaalisia ja yhteiskunnallisia kysymyksiä ratkaistavaksi. Muut laitevaihtoehdot, kuten mobiililaitteet, kiinteään paikkaan sijoitetut näytöt tai projektiot kaikki sisältävät käyttörajoitteita.

Tämän tutkielman tarkoitus on fokuoittaa AR:n käyttöön teollisessa ympäristössä lattiataason prosesseissa, joilla tarkoitetaan työtehtäviä, jotka liittyvät tuotantotoimintaan ja sen tukemiseen. Tutkielmassa pyritään ymmärtämään hyötyjä, joita AR:n käyttö voi mahdollistaa, ja joiden varaan teollisuusyritysten AR:n implementoinnin eli käyttöönoton päätökset perustetaan. Tämän ymmärtämiseksi täytyy ymmärtää missä tehdastyöprosesseissa AR:ää voidaan hyödyntää ja millä tavoin. Tiivistäen tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

- Miten AR:ää hyödynnetään teollisuudessa?
- Millaisia hyötyjä AR:n käyttöönotto mahdollistaa?
- Miten AR otetaan käyttöön onnistuneesti?
- Mikä on AR:n tämänhetkinen tila maailmalla ja Suomessa?

Tutkielma muodostuu kahdesta osiosta, kirjallisuuskatsauksesta ja empiirisestä osiosta. Kirjallisuuskatsauksen tavoite on luoda teoreettinen perusta empiiriselle tutkimusosiolle. Ensimmäisen tutkimuskysymyksen tapauksessa kirjallisuuskatsauksen pyrkimyksenä on kerätä tietoa lukuisista erilaisista tavoista, joilla AR:ää on hyödynnetty teollisuudessa tähän mennessä. Toiseen tutkimuskysymykseen vastaamiseksi erilaisia akateemisissa kirjallisuudessa tunnistettuja hyötyjä arvioidaan suhteessa teknologioiden yleisesti tuottamiin hyötyihin. Kolmannen tutkimuskysymyksen myötä kirjallisuuskatsausta laajennetaan organisaationaalisiin toimenpiteisiin, jotta ymmärretään miten AR:n potentiaaliset hyödyt ovat mahdollisia realisoida käytännön tasolla esimerkiksi teknoloisten vaatimusten ja uusien tai muutettujen toimintatapojen ja prosessien myötä. AR voi muokata erinäisten työtehtävien suorittamista huomattavastikin, joten organisaationaalisen transformaation tulee olla hallittu kokonaisuus. Neljäs tutkimuskysymys pyrkii eräänlaiseen synteisiin kirjallisuuskatsauksen ja myöhemmän empiirisen osion havainnoista AR:n käyttöönottoon liittyen.



Kirjallisuuskatsaus etenee tutkimusmenetelmän suunnittelusta akateemisen lähdeaineiston keräämiseen. Tutkimusmenetelmänä käytetään kvalitatiivista tutkimusotetta, jonka empiirisessä osiossa pyrkimyksenä on kerätä tietoa, joka luo laajempaa ymmärrystä ilmiöistä kuin numeroihin perustuvalla datalla olisi saatavissa. Esimerkiksi aiemmin esitellyt tutkimuskysymykset pyrkivät saamaan vastauksia "miten"- ja "millaisia"-tyylisillä kysymyksillä kvantitatiivisen menetelmän "kuinka monta"-tyylisiin kysymyksiin. Empiirisen osion tutkimusprosessia kuvaillaan luvussa 5.

Aineistoa kerätään pääasiallisesti Google Scholar -palvelun ja Jyväskylän Yliopiston Finna-palvelun kautta, jotka sisältävät laajan valikoiman artikkeleita lukuisista eri akateemisista tietokannoista. Hakusanoina käytetään pääasiassa englanninkielisiä termejä yhdistäen lisätyn todellisuuden englanninkielinen käänös "augmented reality" teollisuuteen, teollisiin prosesseihin ja teolliseen ympäristöön viittaaviin käsitteisiin kuten esimerkiksi "industrial application", "industrial processes" ja "factory". Lisäksi erinäisiin prosesseihin viittäviä termejä kuten "maintenance", "assembly", "industrial training" käytetään, sekä myös organisaatiotason AR-implemointiin liittyviä termejä kuten "organisational" ja "implementation". Myös erinäiset AR:stä kirjoitetut kirjallisuustutkimukset antavat erinomaisen perustan aiheen kokonaisvaltaiselle ymmärtämiselle muun lähdeaineiston kartoittamiselle. Okolin ja Schabramin (2010) ohjeistuksen mukaisesti löydetty ja läpikäyty kirjallisuus rajataan ja referoidaan, jonka jälkeen aineistosta luodaan yhtenevä kokonaisuus. Myöhemmässä vaiheessa haastatteluprosessi ja aineiston käsittely kuvataan Hsiehin ja Shannonin (2005) sekä Assarroudin ym. (2018) ohjeistukseen perustuen. Tavoite on, että kirjallisuuskatsaus toimii teoreettisena vertailukohtana empiirisen osion asiantuntijahaastatteluissa tunnistettaviin lisätyn todellisuuden hyödyntämismahdollisuuksiin.

## 2 LISÄTTY TODELLISUUS TEKNOLOGIANA

Pitkästä historiastaan huolimatta lisätty todellisuus on käsitteenä melko uusi. Teknologia ei myöskään ole yleistynyt vielä valtavirtaväestön omaksumaksi, minkä vuoksi on tarpeellista käsitellä perusteita myöten, mistä lisätyssä todellisuudessa on kyse. Luku 2.1 pureutuu lisätyn todellisuuden määritelmien läpikäyntiin. Luku 2.2 taas käsittelee lisätyn todellisuuden mahdollistavaa teknologiaa, kuvaillen kuinka lisätyn todellisuuden näkymä on mahdollista toteuttaa erilaisissa järjestelmissä. Luku 2.3 tarkastelee sovellusalueita, joissa lisättyä todellisuutta on mahdollista hyödyntää, sekä lisätyn todellisuuden tulevaisuuden näkymiä. Luvusta 3 eteenpäin tutkielman fokus on lisätyn todellisuuden teollisessa käytössä.

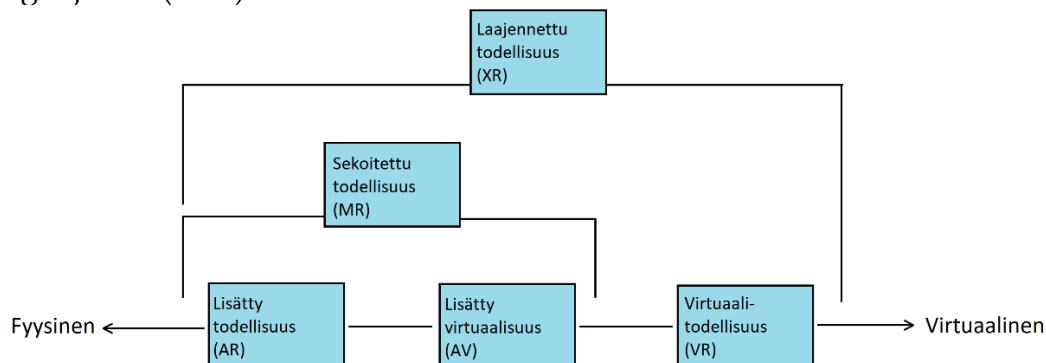
### 2.1 Lisätty todellisuus käsitteenä

1960-luvulla syntyivät ensimmäiset näytöt, joissa virtuaalinen sisältö ja oikean maailman näkymä yhdistettiin onnistuneesti. Termi 'lisätty todellisuus' yleistyi kuitenkin vasta 1990-luvulla, kun Caudell ja Mizell (1992) yhdistivät lentokoneiden valmistustyöhön päähän asetettavan järjestelmän, jonka näyttöön oli mahdollista syöttää työvaiheen kannalta oleellista visuaalista informaatiota. Azuman (1997) yleisesti käytetyn määritelmän mukaan lisätty todellisuus tarkoittaa sitä, että virtuaalisia elementtejä yhdistetään oikeaan ympäristöön ja oikeaan aikaan sijoitettuna. Milgramin ja Kishinon (1994) määritelmä korostaa, että lisätyssä todellisuudessa virtuaalisten elementtien tehtävä on täydentää käyttäjän havainnoimaa oikeaa maailmaa. Azuman (1997) määritelmä listaa kolme ominaispiirrettä, jotka yhdessä tekevät järjestelmästä lisättyä todellisuutta: (1) virtuaalisen ja todellisen integroiminen, (2) interaktiivisuus oikeassa ajassa, ja (3) rekisteröinti oikeassa kolmiulotteisessa ympäristössä. Lisätty todellisuus on täten sidonnainen käyttäjän henkilökohtaiseen perspektiiviin (Milgram & Colquhoun, 1999). Lisätystä todellisuudesta käytetään usein lyhennettä AR (englanninkielisestä

nimityksestä Augmented Reality), jota myös tässä työssä käytetään synonyymina lisätylle todellisuudelle.

Nämä 1990-luvulla esitellyt määritelmät ovat säilyttäneet hyvin paikkansa. Muun muassa Billingham, Clark ja Lee (2015) mukailevat niitä toteamalla, että AR ”pyrkii luomaan illuusion, että virtuaaliset kuvat ovat saumattomasti sekoitettuna oikeaan maailmaan”. Röltgenin ja Dumitrescun (2020) mukaan virtuaalinen sisältö on mahdollista sijoittaa käyttäjän itsensä päälle esimerkiksi käsiin tai kasvoihin, toiseen fyysiseen objektiin tai muualle ympäristöön. AR-sisältö voi viitata menneeseen tai tulevaan tilaan, rikastaa nykytilassa saatavilla olevaa tietoa fyysisen kohteen tilasta, tai olla puhtaasti mielikuvituksellinen. Tavoitteena voi olla luoda täysin fotorealistinen virtuaalinen elementti, tai yksinkertainen grafiikka, jonka käyttäjä erottaa nopeasti todellisen maailman näkymästä. (Röltgen & Dumitrescu, 2020).

Milgram ym. (1995) esittelevät todellisuus-virtuaalisuus-jatkumon, jonka mukaan AR kuuluu niin kutsutun sekoitetun todellisuuden (Mixed Reality, MR) kenttään. Jatkumon eri päissä ovat fyysinen eli oikea maailma, jota ei ole täydennetty millään tapaa virtuaalisesti, ja virtuaalinen, jossa oikea maailma on rajattu pois. Nimensä mukaisesti sekoitettu todellisuus sekoittaa elementtejä fyysisestä todellisuudesta ja virtuaalisuudesta. AR:n lisäksi sekoitettuun todellisuuteen kuuluu lisätty virtuaalisuus (Augmented Virtuality), jossa virtuaaliseen maailmaan viedään oikean maailman elementtejä. (Milgram ym., 1995). Koska kummassakin näistä muodoista yhdistellään todellista ja virtuaalista, voi niiden lopputuloskin olla samankaltainen. Sekoitettun todellisuuden keskeinen ajatus on interaktio fyysisen ja virtuaalisen maailman objektien välillä. Laajennettu todellisuus (Extended Reality, XR) puolestaan on käsite, joka kattaa sekä sekoitetun todellisuuden että virtuaalitodellisuuden (Virtual Reality, VR), jossa käyttäjä upotetaan täysin virtuaaliseen maailmaan, jossa hän enää näe todellista maailmaa (Fast-Berglund, Gong & Li, 2018). VR-kokemus voi täten olla hyvin omalaatuinen ja todellisuudesta poikkeava. Kuviossa 1 Milgramin ym. (1995) todellisuus-virtuaalisuus-jatkumon oheen on liitettyä sekoitetun ja laajennettun todellisuuden määritelmät Fast-Berglundin, Gongin ja Lin (2018) määritelmää mukailen.



Kuvio 1. Todellisuus-virtuaalisuus jatkumo (perustuen: Milgram et al. (1995); Fast-Berglund, Gong & Li, 2018).

VR voi siis simuloida kuvitteellisia tai kaukaisia maailmoja, eri aikakausia, tai ylipäätään tarkastella asioita uusista virtuaalisista perspektiiveistä. Vastaavasti AR voi tuoda kuvitteellisia tai toisaalla olevia elementtejä käyttäjän todelliseen maailmaan, tai tarkemmin ottaen käyttäjän näkymään todellisesta maailmasta. Samalla sen paikka- ja kontekstisidonnaisuus mahdollistaa lukuisien uudenlaisten digitaalisten palveluiden kehittämisen (Starner ym., 1997). Toisin kuin VR:ssä, AR:ssä oikeaa maailmaa ei suljeta käyttäjän näkymästä, mikä mahdollistaa esimerkiksi liikkumisen ja oikean maailman fyysisten objektien käsittelyn AR-laitteen käytön ajanakin. Vaikka tähän asti esitellyt esimerkit ovat korostaneet visuaalisen informaation käyttöä, AR ei rajaudu pelkkään näköaistiin (Azuma, 1997; Billinghurst, Clark & Lee, 2015). Esimerkiksi Narumi ym. (2011) kehittivät järjestelmän, joka muokkasi käyttäjän makuaistihavaintoja siten, että tavallisen keksin makua kyettiin muokkaamaan hajuilla ja visuaalisilla syötteillä. Myös kuulo- ja tuntoaistimuksia on mahdollista muokata reaali maailmaan sidonnaisesti (Azuma, 1997).

Rauschnabelin, Bremin ja Ron (2015) mukaan niin sanottua massamedioiden neljättä sukupolvea edustavat mobiilit älylaitteet, kuten älypuhelimet, taulutietokoneet, älykellot ja -rannekkeet, ovat tulossa ennen pitkää korvatuiksi niin sanotulla viidennellä sukupolvella, jota ilmentävät puettavat älyteknologiat, mukaan lukien AR-lasit. Siinä missä mobiililaitteet ovat viimeisen vuosikymmenen aikana mahdollistaneet pääsyn Internetiin ja sosiaaliseen mediaan ajasta ja paikasta riippumatta, tutkijoiden mukaan puettavien teknologioiden myötä yhteiskunta siirtyy lähemmäksi tilaa, jossa Internet ja tietokoneet ovat saumattomasti läsnä kaikkialla elämässä. (Rauschnabel ym., 2015). AR-laseja ja muita AR-laitteita käsitellään seuraavassa luvussa.

## 2.2 Lisätyn todellisuuden teknologiset ratkaisut

Lisätty todellisuus perustuu joukkoon erinäisiä teknologioita yhdessä, jotka, kuten todettua, mahdollistavat virtuaalisten objektien sijoittamisen käyttäjän näkymään reaaliympäristöstä. Näytön lisäksi Billinghurst, Clark ja Lee (2015) listaavat kaksi muuta keskeistä komponenttia, jotka sisältyvät AR-järjestelmiin. Yksi on seurantakomponentit, joiden avulla AR-järjestelmä hahmottaa jatkuvasti todellista ympäristöä ja siellä ilmeneviä asioita sekä käyttäjän toimintaa. Tätä dataa kerätään muun muassa kameran, gyroskoopin, kompassin, kiihtyvyyssanturin, läheisyysanturin, GPS:n, mikrofoniin ja erilaisten silmien-, käsien- ja päänliikkeitä tarkkailevien menetelmien avulla (Syberfeldt, Danielsson & Gustavsson, 2017). Toinen keskeinen osa on tietokonejärjestelmä, jossa prosessori ja käyttöjärjestelmä yhdessä ohjelmistojen kanssa vastaavat kuvien luomisesta ja sijoittamisesta oikealle paikalle käyttäjän näkökenttään. (Billinghurst ym., 2015). Laitteiden vaatimat akku, muistikapasiteetti ja esimerkiksi langattomat yhteydet ovat myös oleellisia AR-järjestelmien toimintaa tukevia osia (Paganniakis, Singh ja Magnenat-Thalman (2008).

AR-järjestelmiä on monenlaisia. Billingham, Clark ja Lee (2015) esittelevät neljä tapaa, joilla AR:n virtuaalista ja oikeaa yhdistelevän näkymän voi toteuttaa. Ensimmäinen vaihtoehto on käyttää katseluun optista läpinäkyvää puoliheijastavaa pintaa, joka päästää lävitseen ulkoa tulevan valon, ja jonka kautta samanaikaisesti laitteen sisäpuolelta heijastetaan virtuaalista sisältöä käyttäjän verkkokalvoille. Toinen keino on käyttää videonäyttöä, joka voi olla esimerkiksi mobiililaitteessa, AR-laseissa tai näyttöpäätteessä. Tällöin sekä kameroiden kuvaama käyttäjän näkymä todellisuudesta että laitteiston ja ohjelmistojen siihen täydentämä virtuaalinen sisältö ovat kumpikin digitaalista. Jaottelun kolmas kategoria ovat projektiot, joilla reaaliaikaisesti muuttuva kuva voidaan heijastaa suoraan fyysiselle pinnalle, esimerkiksi lattialle. Neljäntenä vaihtoehtona esitellään virtuaalisen sisällön esittäminen rinnakkain oikean maailman kanssa. Esimerkiksi Google Glass -laseissa linssit ovat muuten kuin silmälasien linssit, mutta oikean linssin yläkulmassa on pieni alue, joka näyttää virtuaalista informaatiota käyttäjälle. (Billingham ym., 2015).

Toinen tapa jaotella AR-järjestelmiä on näytön sijainnin mukaan. Bimber ja Raskar (2006) erottelevat järjestelmiä näytön sijainnin perusteella kolmeen kategoriaan, jotka ovat: kädessä pidettävät, päähän asetettavat ja tilaan asetetut. Kädessä pidettävät näytöt lienevät yleisin näistä, sillä AR on tullut yleisen kansan tietoisuuteen juuri älypuhelimien ja taulutietokoneiden myötä esimerkiksi selfiekuvissa kasvofilttereistä, joilla muokataan käyttäjän ulkonäköä virtuaalisilla elementeillä tai digitaalisesti kasvojen mittasuhteita muuttamalla. Vaikka älypuhelimia ja taulutietokoneita ei kehitetty AR:ää varten, on niissä luonnostaan kaikki tarvittavat komponentit AR:n käyttöönnotolle (Bellalouna, 2020).

Bimberin ja Raskarin (2006) luokittelussa päähän asetettavia järjestelmiä ovat erilaiset HMD-näytöt ("head-mounted display"), kuten erilaiset ulkoisesti silmälasia tai kypäriä muistuttavat näyttöratkaisut, joista kaikista käytetään tässä tutkielmassa yleisnimitystä AR-lasit. Esimerkkejä AR-laseista ovat Microsoft HoloLens 2, MagicLeap 2, Meta 2 ja Google Glass, joista jokaisessa on optinen läpinäkyvä linssi tai linssit videonäytön sijaan. Kaikki eroavat fyysiseltä rakenteeltaan toisistaan, osan korostaessa kuvanlaatua ja toisten korostaessa keveyttä, mutta on oletettavissa, että ajan myötä teknologia kehittyy lähelle normaaleja silmälasia muistuttavaa ratkaisua, jolloin rajat erilaisten älylasien välillä hälvenevät. AR-laseissa voidaan myös käyttää aiemmin käsiteltyjä videonäyttöjä. Esimerkiksi suomalainen Varjo XR-3 perustuu videonäyttöön. Myös silmän pinnalle asetettavat näytöt, kuten tulevaisuudessa mahdolliset älypiilolinssit kuuluvat päähän asetettaviin näyttöihin.

Bimberin ja Raskarin (2006) mukaan tilaan asetetut näytöt sijaitsevat kiinteässä paikassa. Tällaisia ovat esimerkiksi tietokoneen näyttöön perustuvat tai auton tuulilasiin integroidut ratkaisut, kuten Huaweiin esittelemä AR-HUD, jossa tuulilasiin sijoitetaan kuljettajan näkökenttään ajon kannalta oleellista tietoa esimerkiksi kaistoista, nopeudesta tai etäisyydestä edellä ajavaan. HUD-näytöt ("head-up display") yleistyivät alun perin hävittäjälentokoneissa. Billinghamin, Clarkin ja Leen (2015) luokittelun AR-projektiot ovat Bimberin ja

Raskarin (2006) mukaan mahdollisia toteuttaa niin päähän asetetusti, kädessä pidellen tai tilaan asetettuna.

Teknologioiden tehtävä on mahdollistaa uudenlaisen arvon tuottaminen, mutta AR:n arvo syntyy ennen kaikkea ohjelmistoista, jotka hyödyntävät AR-laitteiden uusia mahdollisuuksia. Lukuisat yritykset tarjoavat ohjelmistojen kehittämiseen tarkoitettuja SDK-sovellustyökaluja, joiden avulla ohjelmointia osaamattomatkin henkilöt voivat kehittää AR:ää hyödyntäviä sovelluksia ja kokemuksia (Billinghurst, Clark & Lee, 2015). Käyttöjärjestelmien omien sovellustyökalujen avulla sovelluskehittäjät voivat keskittyä sovelluksien sisältöihin, ja kun työkalut paranee, pienemmillä resursseilla toimivien on helpompi tulla markkinoille (Deloitte, 2017). Mobiililaitteiden kautta näillä SDK-alustoilla on jo nyt valmius tavoittaa miljardeja ihmisiä: mobiililaitteiden selainpohjainen WebAR kykenee tavoittamaan 3,06 miljardia, Facebook 1,63 miljardia, Applen Arkit 1,25 miljardia, TikTok 1,1 miljardia ja Googlen ARCore 891 miljoonaa laitetta (Boland, 2021). Luvut korostavat mobiili-AR:n houkuttelevuutta esimerkiksi markkinoinnin näkökulmasta.

Esimerkiksi Googlen vuonna 2018 julkaisema ARCore- SDK-työkalu kykenee seuraamaan, miten ympäristö muuttuu suhteessa kameraan ja sensoreiden dataan. Se myös tunnistaa pintoja, esimerkiksi pöytiä. Näin työkalu mahdollistaa virtuaalisen sisällön sijoittamisen tiettyyn fyysisen maailman sijaintiin. (Google, n.d.). Muun muassa Microsoft HoloLens 2 AR-laseissa virtuaalinen objekti on mahdollista ankkuroida kiinteään paikkaan, joka säilyttää oikean asennon ja koon eri kulmista ja etäisyyksistä tarkasteltaessa silloinkin, kun käyttäjä katsoo toisaalle. Kohteen tunnistamiseen käytetään esimerkiksi QR-koodeja ja "markkereita", jotka ovat eräänlaisia merkkejä, joilla laitteisto tunnistaa mihin sen tulee sijoittaa virtuaalinen elementti (Rosales, Deshpande & Anand, 2021). Myös ns. markkeriton seuranta on mahdollista, mutta markkerien käyttö on Bottanin ja Vignalin (2019) mukaan yleisempää paremman tarkkuuden ja helpomman implementoinnin takia.

Yksi oleellinen osa AR-laitteita on luonnollisesti niiden käyttöliittymä. Kun AR-ratkaisuihin käytetään valtaväestölle tuttuja mobiililaitteita, käyttöliittymät eivät ole suuri päänsärky, mutta AR-laseihin tietokoneista ja kosketusnäyttöistä tutut kaksiulotteiset käyttöliittymät eivät sovellu, koska AR-laseissa käyttäjä näkee käyttöliittymän kolmessa ulottuvuudessa (van Krevelen & Poelman, 2010). Myös pään asento vaikuttaa näkymään ja siten järjestelmän käyttämiseen. Eri järjestelmissä käytön tueksi on kehitetty erilaisia syötelaitteita, kuten ohjainsauvoja, rannekkeita ja käsineitä. Lisäksi käyttöliittymä voi perustua ääniohjaukseen, kädenliikkeen, päänliikkeen tai silmienliikkeen seuraamiseen. Tutkijoiden mukaan todennäköistä on, että AR:n käyttö tulee perustumaan useamman menetelmän yhdistelmään. (Van Krevelen & Poelman, 2010).

## 2.3 Lisätyn todellisuuden markkinapotentiaali

Porter ja Heppelmann (2017a) kirjoittavat, että yleisesti ottaen uusi teknologia voi tuottaa arvoa kahdella tapaa: olemalla osa tuotetta, joka tarjoaa jonkin uuden tai ylivertaisen ominaisuuden, tai muuttamalla prosessia, jolla jokin toinen tuote valmistetaan tai toimitetaan asiakkaalle. Rauschnabelin, Bremin ja Ron (2015) mukaan AR:llä on kyky luoda sekä asiakkaille suuntautuvaa ulkoista arvoa sekä yritykselle itselleen sisäistä arvoa prosesseja tehostamalla. AR:n keskeinen ominaisuus on mahdollistaa tilanteen kannalta relevantin tiedon saatavuus ja täydennettävyys Internetin välityksellä sekä sen suodattaminen. Deloitte (2017) raportissa AR arvioidaan tärkeänä erottavana tekijänä sovellusten välillä muun muassa sosiaalisen median palveluissa, ostosten tekemisen palveluissa, viestintäpalveluissa, mobiilipeleissä sekä käyttöjärjestelmissä. Osa AR:n käyttömahdollisuuksista on vielä näkemyksen asteella tulevaisuuden potentiaalista, mutta AR:llä on myös lukuisia todellisia käyttökohteita jo.

### 2.3.1 AR:n hyödyntämisalueita

Porter ja Heppelmann (2017a) luokittelevat AR:n visualisoiviin, ohjeistaviin ja interaktiivisiin järjestelmiin, joista matalin kehityskynnys on visualisoiville sovelluksille, joita käytetään muun muassa markkinoinnissa näyttämään oikeiden tuotteiden virtuaalisia 3D-malleja käyttäjän omassa ympäristössä. Ohjeistavat järjestelmät ovat astetta pidemmälle kehitetty ratkaisu, jossa laite ja ohjelmisto analysoivat kameran syötettä, ja opastavat näkymässä tietyn toimenpiteen suorittamisen. (Porter & Heppelmann, 2017a). Esimerkiksi renkaanvaihdon aikana ohjeistava AR-järjestelmä kertoo oikean järjestyksen tehtävän suorittamiseksi merkatien näytölle vaikkapa kohdan, johon tunkki asetetaan, pultit, joita tulee kiristää, ja renkaan oikean pyörimissuunnan. Kolmas aste ovat interaktiiviset järjestelmät, jotka vaativat integraatiota erinäisiin sovellusrajapintoihin, joita AR:n avulla voisi olla säädettävissä (Porter & Heppelmann, 2017a). Tällaisia on jo mobiilisovelluksina, esimerkiksi internetiin yhdistettyjä kattolamppuja voi säätää sovelluksesta painamalla, mutta AR:n avulla erillisen sovelluksen tarve voi hävitä siten, että kaikki käyttäjän näkökentässä olevat verkkoon yhdistetyt laitteet olisivat säädettävissä AR-käyttöliittymän välityksellä. Näissä tapauksissa AR vaatii reaaliaikaista kommunikointia kohteen kanssa.

Sopivin näyttöratkaisu voi olla monessa tapauksessa käyttötapauksen määrittämä, sillä esimerkiksi käsien käytön vapauttavat AR-lasit soveltuvat erinomaisesti manuaalisiin tehtäviin, kun taas muun muassa markkinoinnin tarpeisiin suurimman osan ihmisistä käytössä olevat mobiililaitteet ovat usein paremmin soveltuva ratkaisu (PTC, 2017). AR:ää onkin jo pitkään kokeiltu ja hyödynnetty lähes alalla kuin alalla, muun muassa viihteessä, matkailussa, lääketieteessä, muotialalla ja teollisuudessa (Berryman, 2012). AR voi tukea niin olemassa olevia fyysisiä ja digitaalisia palveluita kuin myös fyysisiä

tuotteita virtuaalisella lisäarvolla. PTC:n AR-markkinaraportissa (2017) todetaan, että AR:n mahdollistama virtuaalinen elementti voi muuttaa kokonaan fyysisten tuotteiden määritelmän, kuten kolmiulotteisesti visualisoimalla esimerkiksi värityskirjan kuvia puhelimen näytöllä (Cox, 2015).

### 2.3.2 AR-markkina

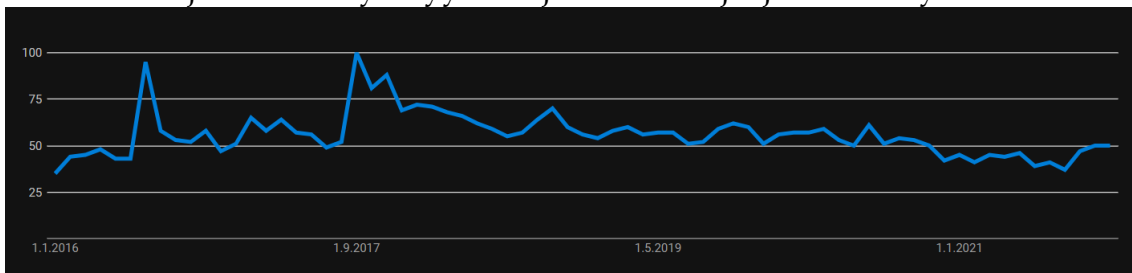
Lisätyn todellisuuden potentiaalista kertoo paljon se, että suurista teknologiayhtiöistä niin Apple, Microsoft ja Google työskentelevät omien AR-laitteidensa parissa lukuisten muiden valmistajien ohella. Vuonna 2016 yli 50 yritystä kehitti omia AR-lasejaan (Lange, 2016). AR-lasien markkina hakee vielä muotoaan, ja uusia valmistajia syntyy toisten tullessa ostetuiksi tai joutuessa konkurssiin (Danielsson, Holm & Syberfeldt, 2020). IPlyticsin tutkimukseen perustuen Microsoftilla oli jo vuonna 2019 yli 10 000 patenttia AR- ja VR-teknologioihin liittyen, ja yli 3000 patenttia omistavia yrityksiä ovat ainakin Google, Samsung, Sony, Intel ja Qualcomm (Statista, 2019). Applen Tim Cook totesi syyskuussa 2017 näkevänsä AR:n esimerkiksi VR:ää potentiaalisempana teknologiana (Fox Rubin, 2017). Lukuisten markkinahuhujen mukaan Apple on julkaisemassa omat AR-lasinsa vuoden 2022 aikana. Keväällä 2021 Microsoft ja Yhdysvaltain armeija julkaisivat sopimuksen 120 000 HoloLens-laitteen toimittamisesta 10 vuoden aikana, raportoiden sopimuksen arvoksi 21,88 miljardia dollaria (Foley, 2021). Toinen merkittävä investointi AR:ään raportoitiin syksyllä 2021, kun Metaksi nimensä vaihtanut Facebook kertoi investoivansa vuoden 2021 aikana yli 10 miljardia niin kutsutun Metaversen rakentamiseen (Facebook, 2021), jossa VR:n ja AR:n avulla pyritään luomaan todellisuuden ja virtuaalimaailman yhdistävä sosiaalinen kokonaisuus.

Xpert Digitalin (2021) raportissa esitellään Boston Consulting Groupin ja Mordor Intelligence -konsulttitalojen näkemysten pohjalta arvio, että AR-lasien myyntimäärät tulevat kasvamaan vuonna 2020 myydystä 250 000 kappaleesta 3,9 miljoonaan kappaleeseen vuoteen 2024 mennessä. Näistä kuluttajakäyttöön myytyjen laitteiden määrän arvioidaan nousevan vuoden 2020 20 tuhannesta kappaleesta 1,59 miljoonaan kappaleeseen vuonna 2024 (Xpert Digital, 2021). Vuonna 2018 teknologia-alan tutkimusyhtiö Gartner arvioi niin kutsutulla hype-käyrällään, että AR:n täysi potentiaali tultaisi saavuttamaan 5–10 vuoden aikana (Panetta, 2019). Toisaalta sama tilanne oli jo vuoden 2005 hype-käyrällä (Gartner, 2005). Vuoden 2018 jälkeen AR ei ole enää ollut Gartnerin julkaisemilla käyrillä mukana. Vuonna 2017 PTC ennusti, että kokonaisuudessaan AR:ään käytettävä vuosittainen rahamäärä saavuttaisi 63 miljardia dollaria vuonna 2021, mutta Xpert Digitalin (2021) raportin mukaan koko XR-markkina tulisi jäämään vuoden 2021 osalta 30,7 miljardiin dollariin maailmanlaajuisesti. Lienee siis reilua päätellä, että AR ei ole tähän saakka onnistunut vastaamaan sille asetettuihin odotuksiin, mikä asettaa myös tiettyjä epäilyksiä uusien arvioiden realistisuudesta esimerkiksi AR-lasien myyntimääriin liittyen.

Google Trends- palvelu tarjoaa mielenkiintoista dataa eri ilmiöiden yleistymisestä. Palvelua voi käyttää esimerkiksi flunssa-aaltojen arviointiin, tai



innovaatioiden leviämisen analysointiin. Lisätyn todellisuuden englanninkielisen termin 'Augmented Reality' käyttö hakusanana on Google Trends -palvelun mukaan melko tasaisena pitkin 2010-luvulta alkaen, joskin Google Glass-älylasien tulo markkinoille (kevät 2014), Pokemon Go-mobiilipeli (kesä 2016) ja Applen demonstroima AR-sovelluskehitystyökalu ARKit (syksy 2017) aiheuttivat piikkejä kiinnostuksen määrässä lisättyä todellisuutta kohtaan. Kuten kuvioista 2 näkyy, syksystä 2017 eteenpäin kiinnostus AR:ään on ollut jopa laskussa. Vuodesta 2015 asti AR on myös ollut merkittävästi vähemmän etsitty hakusanana kuin virtuaalitodellisuus, joka erityisesti jouluisin on herättää kiinnostusta johtuen sen yleisyydestä juuri kuluttaja- ja viihdekäytössä.



Kuvio 2. Maailmanlaajuiset Google-haut hakusanalla "Augmented Reality" vuosina 2015-2021 (Google Trends, 2021).

### 3 LISÄTTY TODELLISUUS TEOLLISUUDESSA

Tämän tutkielman varsinainen aihe on tutkia, mitä hyötyjä lisätty todellisuus voi tarjota teollisuuden prosesseissa. AR ei kuitenkaan ole ainoa tulevaisuuden teknologia, jonka arvioidaan lähitulevaisuudessa muuttavan teollisuuden operatiivista toimintaa. Onkin hyödyllistä ymmärtää ensin teollisuudessa odotettavissa olevia muutoksia, jotta voidaan arvioida AR:n hyödyntämistä suhteessa muihin teknologioihin ja osana laajempaa kokonaisuutta. Kappale 3.1 kuvailee eri teknologioita, joiden uskotaan yleistyvän yhä pidemmälle digitalisoituvassa teollisuudessa lähivuosina. Kappaleessa 3.2 pureudutaan AR:n käyttötapoihin ja niiden mahdollistamiin hyötyihin vertaillen niitä hyötyihin, joita IT-investoinnit yleisesti voivat tarjota. Kappaleen 3.3 teemana ovat erilaiset haasteet, jotka hidastavat sekä AR:n käyttöönottoa, että sen hyötyjen realisoitumista. Kappale 3.4 käsittelee näitä AR:n vaatimuksia taustateknologioille, kuten IT-infrastruktuurille, joka aiheuttaa osan haasteista. Lopuksi kappale 3.5 tarkastelee teollisen AR:n nykytilaa.

#### 3.1 Digitalisoituva teollisuus

Digitaalinen transformaatio on muuttanut yritystoimintaa lähes alalla kuin alalla. Gregorin ym. (2006) määritelmän mukaan digitaalisessa transformaatiossa on kyse organisaationaalisten järjestelmien ja rakenteiden muutoksista IT-teknologioiden hyötyjen realisoimiseksi. Fitzgeraldin ym. (2014) mukaan digitaalisella transformaatiolla tarkoitetaan uusien digitaalisten teknologioiden käyttöä suurten liiketoimintakehitysten, kuten paremman asiakaskokemuksen, virtaviivaisempien prosessien tai uusien liiketoimintamallien mahdollistamiseksi. Digitaalinen transformaatio on tapahtumassa nyt myös teollisuudessa.

Lasin ym. (2014) mukaan teollisuuden historiasta voi havaita kolme aiempaa teknologista "vallankumousta", jotka ovat mullistaneet teollisen tuotannon: koneellistuminen, sähkön hyödyntäminen ja teollisuuden laaja-alainen digitalisoituminen. Seuraavan vallankumouksen uskotaan seuraavan

tehtaiden älyllistymisestä, jossa toisiinsa verkottuneet koneet osaavat ohjata omaa toimintaansa. Erityisesti saksankielisillä alueilla neljättä vallankumousta on kutsuttu nimellä "Industry 4.0". Rüßmann ym. (2015) arvelevat pelkästään Saksassa investoivan vuodesta 2015 eteenpäin noin 250 miljardia euroa seuraavan kymmenen vuoden aikana digitalisoituvan teollisuuden uusien teknologioiden implementoimiseen.

Ohjelmistoista kutsumanimensä johtava Industry 4.0 korostaa ohjelmistojen ja tietotekniikan keskeistä roolia edessä olevassa kehityksessä (Lasi ym., 2014). Industry 4.0 -konseptin mukaan toisiinsa yhteydessä olevat järjestelmät keskustelevat keskenään Internetin välityksellä jakaen sensoreista ja järjestelmistä kerättyä dataa analysointia ja uudelleenkonfigurointia varten (Rüßmann ym. 2015). Data helpottaa prosessien monitorointia ja integrointia toisiin järjestelmiin ja sen helpon saatavuuden avulla voidaan mahdollisesti estää koneiden seisahduksia tai lyhentää seisokkiaikoja (Rosales, Deshpande & Anand, 2021). Neljännen teollisen vallankumouksen mahdollistavia teknologisia ajureita on Rüßmannin ym. (2015) mukaan yhdeksän:

- Autonomiset robotit: Kykenevät työskentelemään omatoimisesti sekä yhteistyössä toisten robottien ja ihmisten kanssa.
- Simulaatiot: Käytetään optimoimaan tuotantoprosesseja ja koneiden toimintaa virtuaalisissa malleissa.
- Organisaation järjestelmien tehokkaampi integrointi: Parempi tiedonsiirto sisäisissä prosesseissa sekä yrityksen ja sidosryhmien järjestelmien välillä.
- Teollinen esineiden internet: Mahdollistaa yhä useampien laitteiden tiedon lähettämisen ja keskinäisen kommunikoinnin.
- Kyberturvallisuus: Turvaa järjestelmien jatkuvan toiminnan niiden astuessa yhä laajemmin Internetin välityksellä ohjattavissa oleviksi.
- Pilvi-infrastrukturi: Ulkoinen, skaalautuva tallennustila ja laskentateho.
- Big data: Valtavien tietomassojen kerääminen ja analysointi esimerkiksi prosessien tehostamiseksi.
- Lisäivät valmistusmenetelmät: Esimerkiksi 3D-tulostus, jossa raaka-aineita ei kulu tarvittavaa määrää enempää.
- Lisätty todellisuus.  
(Rüßmann ym. 2015).

Funk ym. (2016) toteavat, että fyysisten ja digitaalisten komponenttien yhdistyessä kysymykseksi muodostuu rajapinnan suunnittelu koneiden ja käyttäjien eli tehtaan työntekijöiden välille, johon AR kykenee vastaamaan. Robottien yleistyessä tehtaissa myös ihmisten ja robottien kollaboraation uskotaan tiivistyvän esimerkiksi valmistusprosesseissa, ja tähän tarvitaan uudenlaisia käyttöliittymiä (De Pace ym., 2020). Tehtaan operaattoreiden voi myös olla vaikea seurata usean tuotantokoneen erilaisia käyttöliittymiä yhtäaikaisesti, jolloin tärkeää informaatiota voi jäädä huomaamatta (Zhu, Liu &

Xu, 2019). Operaattoreiden osaamisen ja tietotaidon vaatimusten noustessa AR voi tukea tässä haasteessa tarjoamalla tietoa, jota operaattori ei muuten kykenisi keräämään (Syberfeldt ym., 2016). Vaidya, Ambad ja Bhoslen (2018) korostavatkin AR:n kykyä välittää tilanteen vaatimaa reaaliaikaista informaatiota tulevaisuuden tehdastyössä. Porter ja Heppelmann (2017a, s. 57) toteavat, että ”vaikka kehitykset tekoälyssä ja robotiikassa ovat vaikuttavia, uskomme, että koneiden kyvykkyyksien yhdistäminen ihmisille ominaisiin vahvuuksiin tulee johtamaan merkittävästi suurempaan tuottavuuteen ja arvonluontiin kuin kumpikaan kykenisi yksinään”.

Industry 4.0:n suurimpia ajureita ovat tehokkuutta parantavat perusteet. Uudet teknologiat ja periaatteet mahdollistavat resurssien tehokkaamman hyödyntämisen, lyhyemmät kehitysprosessit, paremman joustavuuden sekä hajautetun ja nopeamman päätöksenteon (Lasi ym., 2014). Globalisaation myötä yritysten toimialueet kasvavat ja kilpailu markkinoilla lisääntyy, joten maailmanlaajuisesti toimivien yritysten on kyettävä palvelemaan asiakkaiden tarpeita nopeasti ja tehokkaasti. Uudet tuotteet kehittyvät monimutkaisemmiksi niin teknologiatietoisten asiakkaiden muuttuvien tarpeiden (Fitzgerald ym., 2014) kuin yhä useammin tuotteissa olevien teknologisten komponenttien takia (Meyer, Främling & Holmström, 2009). Myös kysyntä räätälöidyille tuotteille kasvaa ja tietyissä tapauksissa johtaa tilanteisiin, jossa valmistetaan yhden kappaleen tuote-eriä (Lasi ym., 2014).

Näiden muutosten seurauksena yritysten sisäiset prosessit monimutkaistuvat ja toimitusketjujen muuttuessa maailmanlaajuiseksi reaaliaikaisen datan tarve kasvaa arvoketjun eri vaiheissa tuotekehityksestä valmistukseen ja huoltoon (Bottani & Vignali, 2019). Esimerkiksi kokoonpano-operaattoreilla on yhä vähemmän varaa virheisiin samalla kun heidän on omaksuttava uusia työtapoja ja teknologioita (Danielsson, Holm & Syberfeldt, 2020). Tämä trendi tulee oletettavasti kiihtymään Industry 4.0:n myötä kokoonpanolinjojen tuottaessa enemmän tuotevariaatiota ja prosessidataa, jolloin kokoonpano-operaattorit tarvitsevat AR:n kaltaisen oleellista tietoa tarjoavan käyttöliittymän eri tuotteiden ja tehtävien edellyttämien tietojen tarkistamiseen ja yksinkertaistamiseen. (Büttner ym., 2017; Danielsson ym., 2020).

### 3.2 AR:n käyttötavat ja hyödyt teollisuudessa

Investointien perimmäinen tarkoitus on saavuttaa hyötyjä. Melville, Kraemer ja Gurbaxani (2004) määrittelevät IT:n liiketoimintahyödyt ”informaatioteknologian organisaationaalina tehokkuusvaikutuksina sekä prosessien että koko organisaation tasolla, käsittäen sekä tehokkuus- että kilpailukykyvaikutuksia”. Gregor ym. (2006) luokittelevat IT-investoinneilla saatavissa olevat hyödyt niiden ensisijaisen tavoitteen mukaan neljään hyötykategoriaan, jotka ovat transaktio-, informaatio-, strategia- ja transformaatiohyödyt:

- Transaktiohyödyt liittyvät operatiiviseen toimintaan ja niitä ovat: kustannussäästöt, säästöt kommunikointiin kuluvalle ajalla, säästöt jakeluketjun hallinnassa, uusien palkkausten välttäminen, tuotto investoinnille ja tuottavuusparannukset.
- Informaatiohyödyt vastaavasti liittyvät tiedon saatavuuteen kommunikoinnissa ja päätöksenteossa. Niitä ovat: nopeampi pääsy tietoon, helpompi pääsy tietoon, parempi tiedon hyödyntäminen strategiassa, parempi tiedon tarkkuus sekä tiedon esittäminen helpommin käytettävässä muodossa.
- Strategiahyödyillä tarkoitetaan kilpailukykyä parantavia vaikutuksia, joita ovat: kilpailuedun luominen, IT-bisnes-strategian parempi yhteensovittaminen, parempi yhteistyö toisten organisaatioiden kanssa, nopeampi reagointi muutoksiin, asiakassuhteiden kehittäminen sekä parempien tuotteiden ja palveluiden tarjoaminen.
- Transformaatiohyödyt, joilla tarkoitetaan organisaation rakenteisiin ja kyvykkyyksiin liittyviä vaikutuksia. Transformaatiohyödyt ovat: korkeampi taitotaso työntekijöille, liiketoimintasuunnitelman kehittäminen, organisaation kyvykkyyksien laajentaminen, liiketoimintamallien parantaminen tai organisaatorakenteiden tai prosessien parantaminen.  
(Gregor ym., 2006).

Gregorin ym. tutkimuksen perusteella yrityksille keskeisin edellä esitellyistä hyötykategorioista ovat informaatiohyödyt, jonka tutkijat sanovat osoittavan, että tiedon hallinnasta ja hyödynnettävyydestä on saatavissa suurin hyöty yritysten liiketoiminnassa. Transaktiohyödyt, kuten säästöt, jäivät viimeiseksi yritysten mielipiteissä toimialasta ja yrityksen koosta riippumatta. Transformaatio nähdään paitsi osana IT:n liiketoimintahyötyä, myös ajurina pidemmälle muutokselle. (Gregor ym., 2006). Luvuissa 3.3.2–3.3.5 esiintyvää lihavoitua tekstiä käytetään osoittamaan tietyn Gregorin ym. luokittelun mukaisen hyödyn realisoitumista. Näitä havaittuja hyötyjä esitellään tiivistetyin esimerkein kunkin luvun lopussa. Tätä ennen luku 3.2.1 tiivistää AR:n käyttökohteet teollisuuden prosesseissa.

### 3.2.1 AR:n teolliset sovelluskohteet

Röltgen ja Dumitrescu (2020) kokoavat 75 akateemisen tutkimuksen pohjalta kattavan listan AR:n käyttötavoista, joita opastavista AR-järjestelmistä ovat (1) huollon tukeminen, (2) kokoonpanon tukeminen, (3) etätuki etäasiantuntijan avulla, (4) tavaroiden poimimisen ohjeistus esimerkiksi logistiikassa, (5) purkamisen tukeminen, (6) toimintojen kouluttaminen ja (7) laadunvalvonta. Havainnollistavissa järjestelmissä AR:n käyttötapoja ovat (8) ymmärryksen pyrkivä kouluttaminen, (9) datan visualisointi, (10) prosessien suunnittelu, (11) mallidatan vertailu, (12) tuotantojärjestelmän suunnittelu, (13) tuotteen esitleminen, (14) suunnittelun arviointi, (15) 3D-mallintaminen ja (16)

tutkijoiden tituleeraama ”näe-ennen-kuin-ostat”. Syy koulutuksen jakamiselle kahteen kategoriaan oli tutkijoiden mukaan siinä, että prosessit eroavat, kun pyritään opettamaan motorisia taitoja verrattuna tiedon siirtämiseen ja omaksumiseen. Purkamisen ja kokoonpano taas eroteltiin eriävien tavoitteiden takia, sillä purkamisessa tärkeintä on resurssien kerääminen uudelleen käytettäväksi, kun taas kokoonpanossa AR:n avulla halutaan kehittää tuottavuutta. (Röltgen & Dumitrescu, 2020).

De Souza Cardoso, Marianon ja Zorzalin (2020) laatimassa kirjallisuustutkimuksessa arvioidaan 121 tutkimusta AR:n käytöstä teollisuudessa, mutta näistä vain 5 %:a oli implementoitu todelliseen tuotantoympäristöön. Ymmärrys AR:n käytöstä perustuu siis pitkälti pilottitesteihin ja prototyyppeihin laboratorio-olosuhteissa. Pääosa tutkimuksista tarkastelee AR:n hyödyntämistä kokoonpano- ja huoltotehtävissä opastavana teknologiana (De Souza Cardoso ym., 2020). Perkins Coien (2020) markkinaraportissa XR-alan asiantuntijat arvioivat XR-teknologioiden yleistyvän lähivuosina erityisesti etätuen tarjoamisessa ja koulutuksessa, mikä on ymmärrettävää ottaen huomioon, että etätuen tarjoaminen onnistuu mobiililaitteilla, ja koulutuksessa on mahdollista käyttää fyysisestä kontekstista riippumatonta VR:ää. Kauimpana yleistymisen asiantuntijoiden mukaan on tuotesuunnittelussa ja varastonhallinnassa. (Perkins Coie, 2020).

De Souza Cardoso, Marianon ja Zorzalin (2020) kirjallisuustutkimuksen perusteella lähes puolet julkaisuista ei kohdistanut kehitettyä AR-sovellusta koskemaan yhtä tiettyä teollisuudenalaa. Bottanin ja Vignalin (2019) kirjallisuuskatsaus päättyy vastaavaan havaintoon, että yksittäistä alaa, jolla AR olisi erityisen hyödyllinen, ei ainakaan vielä ole tunnistettavissa. Näihin havaintoihin perustuen tässäkin tutkimuksessa ei täten keskitytä yksittäisiin teollisuuden aloihin, vaan AR:ään yleisesti teollisuuden prosesseissa käytettävissä olevana teknologiana. Röltgenin ja Dumitrescun (2020) listaamista 16 käyttötavasta niin sanotut havainnollistavat käyttötavat koskevat pitkälti tuote- ja prosessisuunnittelua, jossa AR luo arvoa visualisoimalla 3D-malleja oikeassa ympäristössä, kun taas opastavat käyttötavat vastaavat enemmän tutkimusaiheen tavoitteisiin tutkia AR:n hyödyntämistä tehtaiden lattiataason työprosesseissa.

AR:ää käsittelevät tutkimukset jakautuvat melko tasaisesti eri prosessien välille. Bottanin ja Vignalin (2019) kirjallisuustutkimuksen perusteella 15,1 % AR-tutkimuksesta fokuksuu kokoonpanoon, huoltotehtäviin 14,7 % ja koulutukseen 12,5 %. PTC:n (2019) markkinaraportin mukaan vastaavat lukemat olivat 18 %, 17 % ja 17 %. Suurin syy tasaiseen jakautumiseen lienee siinä, että AR itsessään on vain media, joka välittää tietoa. AR:n luomaa arvoa syntyy prosessista riippumatta oikea-aikaisella kontekstin kannalta relevantilla tiedonsaannilla suoritettavasta tehtävästä tai prosessin vaiheesta. AR:n rooli kaikissa prosesseissa on sama, ja kysymys onkin vain siitä, mitä tietoa annetaan, milloin sitä annetaan, ja missä muodossa. Seuraavissa luvuissa esitellään hyötyjä, joita AR:llä voidaan saavuttaa yleisellä tasolla tai tietyissä prosesseissa.

### 3.2.2 Transaktiohyödyt

Transaktiohyödyt viittaavat siis pääasiassa kustannustehokkuuteen laajempien kannattavuus- ja kilpailuetuhyötyjen kohdistuessa myöhemmin käsiteltäviin strategiahyötyihin. Ristiriidassa Gregorin ym. (2006) edellä esitelyihin löydöksiin, usea kirjallisuuden lähde korostaa AR-investointien fokusta transaktiohyötyihin. Esimerkiksi PTC:n (2019) markkinaraportin mukaan suurin osa sen tarjoaman ThingWorx-kehitysalustan teollisuusasiakkaista ottaa AR:n käyttöön sisäisissä prosesseissa **operatiivisen tehokkuuden ja matalampien kulujen** saavuttamiseksi. Myös Masood ja Egger (2020) nostavat tehokkuuden parannuksen yhdeksi keskeisimmistä AR:n mahdollisimmista hyödyistä. Transaktiohyötyjä korostaa lisäksi Röltgen ja Dumitrescu (2020), joiden mukaan 32 %:ssa ja siten myös yleisimmin akateemisissa julkaisuissa raportoitu AR-järjestelmän pääasiallinen hyöty on kustannusten vähentäminen.

Esimerkiksi Rosales, Deshpande ja Anand (2021) hyödynsivät AR:ää löytämään viallisen sensorin nopeammin opastamalla huoltoteknikon signaalin luo visualisoimalla sensoreista saatavilla olevaa dataa. Tutkijoiden mukaan vianmääritysprosessin kokonaiskesto laski teollisen esineiden internetiin (IIoT) ja AR:ään perustuvan visualisointiratkaisun avulla noin 50 minuutista 35–40 minuuttiin, mikä osoittaa perinteisiin käyttöliittymiin menetelmiin nähden 20–30 %:n tuottavuusparannuksen riippuen huoltoteknikon taitotasosta. (Rosales ym., 2021). Tällaisessa tapauksessa AR voi säästöjen kautta luoda merkittävän **tuoton investoinnille** ajan myötä. Saatujen hyötyjen suuruudet ovat kuitenkin pitkälti tapauskohtaisia. Masoodin ja Eggerin (2019) mukaan tehtävän monimutkaisuus ja luonne vaikuttavat saatavilla oleviin tehokkuushyötyihin. Kenttäkokeissa on havaittu, että AR:n hyödyt ovat pienemmät kokeneiden työntekijöille ja suuremmat tehtävään kouluttamattomien työntekijöiden kohdalla. (Masood & Egger, 2019).

PTC:n (2019) markkinaraportin mukaan brittiläisen ase- ja lentokonevalmistaja BAE:n pilotoimassa kokoonpano- ja operaattoritehtävien opastusjärjestelmässä saavutettiin paitsi nopeammin saatavilla olevaa ja tarkempaa ohjeistusta työvaiheista, myös työtehtävien ohjeiden luominen työntekijöille onnistui ”tunneissa, kymmenesosan kustannuksilla perinteisiin menetelmiin nähden”. Tällä tavoin myös **kommunikaation kustannussäästöjä** voi syntyä AR:ää hyödyntämällä. (PTC, 2019).

Parempi kommunikointi ja tiedon saatavuus voivat auttaa myös muita toimitusketjun osallisia saavuttamaan kustannushyötyjä. Mišćević ym. (2018) viittaavat DHL:n raporttiin, jonka mukaan niin sanotun ”viimeisen kilometrin” logistiikkakumppaneiden kuljettajien ajasta 40–60 % kuluu oikean tuotteen tai paketin paikantamiseen ajoneuvossa, mikä myös kuormittaa kuljettajan muistia. Näiden ajallisten ja siten rahallisten säästöjen voidaan olettaa näkyvän myös lähettävän yrityksen **toimitusketjussa säästöinä**. Mišćević ym. eivät määritelleet miten oikean kohteen visualisointi AR:n avulla onnistuisi, mutta esimerkiksi paketin skannaaminen lastausvaiheessa voisi mahdollistaa, että

järjestelmä kykenisi toimittamaan paketin sijainnin AR-laseissa. Tätä tutkielmaa kirjoittaessa DHL:n raportti ei ollut enää saatavilla.

Huoltotehtävissä säästöjä voi syntyä niin etätuessa kuin opastavissa järjestelmissä. Etätuen tapauksessa huoltoteknikkoa ei tarvitse lähettää paikasta toiseen, mikäli huoltotehtävä on mahdollista toteuttaa AR:n ja etäasiantuntijan avustamana (Fiorentino ym., 2014). Tällaisessa järjestelmässä asiantuntija voi merkata käyttäjän näkymään virtuaalisilla elementeillä mihin tämän tulisi kiinnittää huomio. Fast-Berglund, Gong ja Li (2018) havaitsivat testissä, että etäasiantuntijan opastaessa aloittelevaa operaattoria monimutkaisessa kokoonpanotehtävässä, tehtävästä suoriutuminen onnistui 30 %:a nopeammin paperiohjeisiin verrattuna. AR voi näin mahdollistaa lyhyemmät odotteluajat ja siten lisätä koneiden käyttöaikaa, mikä näkyy suurempina säästöinä ja tuottavuutena (Röltgen & Dumitrescu, 2020). Etäyhteyden välityksellä asiantuntija voi palvella päivän aikana useaa asiakasta eri sijainneista, jolla voi olla myös **vaikutusta tarvittavan huoltohenkilöstön määrään**.

Järjestelmien kehittyessä ohjeistavat AR-järjestelmät voivat opastaa tehtävän suorittamisen niin tarkasti, että ymmärrystä osasta tai koneen toiminnasta ei välttämättä tarvita (De Amics ym., 2018; Röltgen & Dumitrescu, 2020). Tämän seurauksena myös vaatimukset työntekijän osaamiselle laskevat, jolloin esimerkiksi kouluttamaton tai vammaisen henkilö voi selviytyä vaativasta työtehtävästä (Büttner ym., 2017; Fiorentino ym., 2014). Matalampien osaamisvaatimusten seurauksena yritys voi säästää rahaa palkkaamalla matalammin koulutettuja työntekijöitä, eivätkä toisaalta ole niin riippuvaisia yksittäisestä työntekijästä (De Amics ym., 2018). Näillä tekijöillä voi niin ikään olla vaikutusta tarvittavan henkilökunnan määrään. Ohjeistusten tekeminen on toki oma haasteensa, jota käsitellään myöhemmissä kappaleissa.

Työtehtävien koulutus on alue, jossa AR:ää on tutkittu melko paljon. Aina ei ole kustannustehokasta tai muuten mahdollista käyttää esimerkiksi toista työntekijää opastamaan jokaista työtehtävää aloittelevalle työntekijälle (Westerfield, Mitrovic & Billinghamurst, 2015). Fyysisten tuotantokoneiden kanssa harjoittelu voi myös olla vaarallista tai hidastaa tuotantoa (Büttner ym., 2017). AR voi mahdollistaa koulutuksen ilman kouluttajaa ja ilman fyysistä konetta. Quandt ym. (2018) osoittavat, että esimerkiksi hitsaustehtävän kouluttaminen onnistuu etäällä hitsattavasta kohteesta, mikä tekee koulutustehtävästä turvallisemman perinteisiin koulutusmenetelmiin verrattuna. Koulutus on myös mahdollista aloittaa uudelleen sekunneissa ja toistettavissa useita kertoja ilman, että materiaalia kuluu. (Quandt ym., 2018).

Sekä Westerfield, Mitrovic ja Billinghamurst (2015) että Gavish ym. (2015) havaitsivat AR:n avulla annettavan koulutuksen johtavan pienempään virheiden määrään, mikä näkyy parempana tuottavuutena ja säästöinä. Jälkimmäisessä tutkimuksessa niin AR:ään kuin myös VR:ään perustuvat järjestelmät vaativat aluksi pidemmän opetteluajan, mutta tätä voi osaltaan selittää teknologian suhteellinen uutuus ja vieraus (Gavish ym., 2015). Tämä havainto on linjassa Aiman-Smithin ja Greenin (2002) löydöksiin uuden teknologian implementoinnista yleisesti: korkealaatuisempi koulutus johtaa



hitaammin pätevyyteen, mutta korkeampaan tyytyväisyyteen. Vaivaton pääsy koulutusmateriaaleihin työsuorituksen aikana myös vähentää työntekijän tuottamatonta aikaa (PTC, 2019).

Tehdastyön tukitoiminnoista logistiikka on toiminto, jossa suurin aikanielu on tavaroiden poimiminen hyllystä. Porter ja Heppelmann (2017a) huomauttavat, että useimmissa varastoissa poimiminen tapahtuu paperilistan perusteella, mikä tekee prosessista paitsi hitaamman, myös virheherkemmän. AR:ään perustuva järjestelmä voi opastaa, mitä tuotteita kuuluu poimia, missä ne sijaitsevat sekä laatia käyttäjälle tehokkaimman reitin poimimiselle (Röltgen & Dumitrescu, 2020). Porterin ja Heppelmannin mukaan DHL saavutti 25 % tuottavuusparannuksen ja sitoutuneemman varastohenkilökunnan sekä vähensi virheiden määrää tällaisen järjestelmän avulla. Myöhemmin DHL implementoi järjestelmän maailmanlaajuisesti. (Porter & Heppelmann, 2017a). Taulukko 1 kokoaa yhteen kirjallisuuskatsauksessa havaitut transaktiohyödyt.

Taulukko 1. AR:n mahdollistamat transaktiohyödyt

Transaktiohyödyt	Saako?	Esimerkkejä
Säästöt jakeluketjun hallinnassa	KYLLÄ	Logistiikkayhtiö voi nopeuttaa pakettien jakelua pääsyllä tietoon
Operatiivisten kulujen laskeminen	KYLLÄ	Matalammat työvoimavaatimukset ja -kulut, vähemmän virheitä
Kommunikaatiokustannusten laskeminen	KYLLÄ	Nopeampi työohjeiden luominen ja viestiminen
Uusien palkkausten välttäminen	KYLLÄ	Mahdollisuus vähentää, nykyinen henkilöstö tuottaa enemmän
Investoinnin tuoton kasvattaminen	KYLLÄ	AR ei luo prosesseissa rahaa, mutta maksaa itsensä säästöissä
Työntekijöiden tuottavuuden parantaminen	KYLLÄ	Nopeampi suoriutuminen työtehtävästä

### 3.2.3 Informaatiohyödyt

Informaatiohyödyt kuvastavat nimensä mukaisesti tiedonlaatuun ja -saatavuuteen liittyviä hyötyjä, joita uuden teknologian käyttöönottolla pyritään saavuttamaan. Tutkimuksista, joissa tarkasteltiin AR:n hyödyntämistä tuotantoympäristössä, 7 % raportoi AR-järjestelmän keskeisimmäksi hyödyksi AR:n kyvyn mahdollistaa päätöksentekoa reaaliaikaisen visualisoitavissa olevan datan avulla (de Souza Cardoso, Mariano & Zorzal, 2020). Masoodin ja Eggerin (2019) kyselytutkimuksen mukaan AR:n suurin hyöty teollisuudessa on **tehokas pääsy informaatioon**. Järjestelmä voi jatkuvasti tarkkailla ja analysoida näkemäänsä, ja antaa tämän perusteella käyttäjälle arvokasta tietoa.

Röltgenin ja Dumitrescun (2020) mukaan AR:n avulla voidaan myös keventää käyttäjän aivotyötä, kun ulkoisten tietolähteiden **tieto on helpommin saatavilla** luonnollisessa fyysisessä ympäristössä ilman jatkuvaa huomion siirtelyä manuaaleista ja videoista koulutustehtävän kohteena olevaan fyysiseen tai virtuaaliseen objektiin. AR-ohjeiden informaation ja fyysisen kohteen

hahmottaminen samassa näkymässä parantaakin intuitiivisuutta, tehokkuutta ja vuorovaikutusta virtuaalisen ja fyysisen välillä (Westerfield, Mitrovic & Billinghurst, 2015). Esimerkiksi Jetter, Eimecke ja Rese (2018) testasivat Bosch CAP AR-alustaa auton huolto-, korjaus-, katsastustehtävissä. Kehitetty järjestelmä kykenee antamaan digitaalisia ohjeistuksia osoittaen työvaiheet ja tarvittavat työkalut, näyttämään reaaliaikaista diagnostiikkaa auton tarkasteltavasta autonomasta sekä visualisoimaan piilossa olevia osia, kuten kojelaudan takana olevia johtoja, laitteen näytölle. Tämän koettiin parantavan tehtävän vaatiman tiedon esitysmuotoa ja keventävän kognitiivista kuormitusta. (Jetter ym., 2018).

Gavishin ym. (2015) mukaan AR parantaa myös tehtävien jäämistä pitkäaikaiseen muistiin ja he uskovatkin, että AR:ää kannattaa hyödyntää ylläpito- ja kokoonpanotehtävissä. Myös mahdollisuus hyödyntää erilaisia multimedioita tekee AR-ohjeista intuitiivisempia perinteisiin menetelmiin verrattuna (Fiorentino ym., 2014). Scurati ym. (2019) viittaavat tutkimuksiin, joissa on havaittu, että visuaaliset ohjeistukset ovat kognitiivisesti mieleisempiä, koska **tieto on helpommin ymmärrettävissä** ja muistettavassa muodossa kuin tekstimuotoinen informaatio. Monimuotoinen informaatio sopii hyvin myös esimerkiksi lukihäiriöisten tai vieraskielisten työntekijöiden opastukseen (Masood & Egger, 2020). Tietoa työtehtävien vaiheista on mahdollista antaa muun muassa kuvien, videoiden, animaatioiden ja listojen muodossa (Michalos ym., 2016). Palmarini ym. (2018) tutkivat 30 AR-järjestelmää esittelevää tutkimusta, ja havaitsivat, että erityisesti dynaaminen kaksi- ja kolmiulotteinen sisältö, kuten liikkuva nuoli, on yleisin visualisointikeino (noin 40 %:ssa järjestelmiä). Staattista visualisointia hyödynnettiin noin 26 %:ssa tutkittuja järjestelmiä. Samaan prosenttilukuun ylsi myös tekstiin perustuva visualisointi. Ääniopastusta hyödynsi 8 % järjestelmistä. (Palmarini ym., 2018).

Funk ym. (2016), Michalos ym. (2016) ja Tatić ja Tešić (2017) esittelevät järjestelmiä, jotka opastavat käyttäjän suorittamaan tehtävän vaihe vaiheelta ja huomauttavat virheistä tai tekemättä jääneistä vaiheista. Funkin ym. (2016) järjestelmä tunnistaa käyttäjän suorittamia toimintoja, kuten tietyn osan nostamisen tai kokoamisen. Michalosiin ym. (2016) järjestelmä puolestaan visualisoi taulutietokoneen näytölle kaikki tarvittavat komponentit sekä järjestyksen, jossa ne tulisi koota. Samalla se informoi robottien liikkeistä alueella, välittää automaattisesti tulevia varoituksia tarpeen tullen sekä antaa tietoa prosessien etenemisestä, tuotemalleista ja tulevista tehtävistä. (Michalos ym., 2016). AR-laitteiden tuotantotehtävien aikana välittämää informaatiota voidaan myös muokata käyttäjäkohtaisesti (Fiorentino ym., 2014). Holmin ym. (2017) esittelemässä järjestelmässä ohjeet ovat mukautettavissa sen mukaan, onko työntekijä tai työprosessi uusi tai onko informaatio niin tärkeää, että se tulisi näyttää kokeneellekin työntekijälle.

Dokumentaatio on keskeinen osa yrityksen ja huoltoteknikkojen käytössä olevaa tietoa, mutta koneiden ylläpidon osaaminen on harvoin dokumentoitu täydellisesti. Teknikoilta vaaditaan kattavaa osaamista paitsi erilaisiin laitteisiin ja niiden erilaisiin diagnosointi- ja huoltotehtäviin, myös eri tasoisten ja ikäisten

dokumentaatioiden käsittelyyn ja tulkitsemiseen (Erkoyuncu, 2017). Nykyajan tuotteiden monimutkaistuu entisestään, huoltoteknikoille kohdistuu myös alati korkeampia taitovaatimuksia. Esimerkiksi mekaanisten osien huoltamisen lisäksi teknikko voi joutua tekemään ohjelmistopäivityksiä tai järjestelmien vianselvitystä (Porcelli ym., 2013). Yksi merkittävä haaste ikääntyvän työväen myötä on myös se, että tietotaito esimerkiksi vanhemmista laitteista voi hävitä työntekijän eläköityessä (PTC, 2019). Kun tieto siirtyy yksittäisten osaajien päästä AR-järjestelmään, organisaation saatavilla olevan informaation määrä kasvaa (Röltgen & Dumitrescu, 2020) ja se on säilytettävissä organisaatiolla itsellään (Fiorentino ym., 2014). Laadukas dokumentaatio **parantaa olemassa olevan informaation tarkkuutta**. Ohjeiden luominen kuitenkin vaatii resursseja, mitä käsitellään luvussa 4.2.3. Palmarinin ym. (2018) mukaan järjestelmien tulisi tarkkailla ja kerätä dataa käyttäjän aikeista ja toimista, jonka avulla koulutusta ja prosesseja olisi mahdollista tehostaa. Taulukko 2 kokoaa yhteen kirjallisuuskatsauksessa havaitut informaatiohyödyt.

Taulukko 2. AR:n mahdollistamat informaatiohyödyt

Informaatiohyödyt	Saako?	Esimerkkejä
Nopeampi pääsy informaatioon	KYLLÄ	Järjestelmä antaa oikean tiedon automaattisesti
Helpompi pääsy informaatioon	KYLLÄ	Järjestelmä antaa oikean tiedon automaattisesti
Parempi informaatio strategiseen suunnitteluun	KYLLÄ	Prosesseista kerätty data visualisoitavissa ja säilöttävissä
Parempi informaation tarkkuus	KYLLÄ	Järjestelmä antaa oikean tiedon automaattisesti
Informaation tarjoaminen paremmissa muodoissa	KYLLÄ	3D-grafiikat ja -animaatiot selkeämpiä kuin 2D-dokumentit

### 3.2.4 Strategiahyödyt

Strategisilla IT-investoinneilla pyritään toiminnan tehokkuuden sijaan pikemminkin myynnin ja markkinaosuuden kasvattamiseen esimerkiksi paremmin tarpeisiin vastaavien tuotteiden avulla (Weill, 1992). Treacyn ja Wierseman (1993) mukaan strategian tarkoitus on asemoida yritys toimimaan tietyn kilpailuedun kanssa jollakin seuraavista:

- Operatiivinen erinomaisuus: luotettavien, tasalaatuisten tuotteiden tarjoamista kilpailukykyisin hinnoin esimerkiksi matalamman kulurakenteen ansiosta.
- Läheiset asiakassuhteet: tarkkaan määritellyn asiakaskunnan tarpeisiin vastaaminen joustavin valmistusprosessein, jotta yritys voi nopeasti muuttaa valikoimaansa asiakkaiden kiinnostuksen mukaan.
- Johtajuus tuotetarjoomissa: markkinoiden parhaiden tuotteiden tai palveluiden tarjoamista, joista saatava arvo on pysyvää hyötyä asiakkaalle.

Yrityksen pitäisi pyrkiä tarjoamaan ainakin yhdessä näistä kategorioista arvoa, jota sen kilpailijat eivät kykene tarjoamaan. (Treacy & Wiersema, 1993). AR

kykenee tuottamaan arvoa niin operatiivisen toiminnan kehittämässä, läheisempien asiakassuhteiden mahdollistamisessa, että parempien tuotetarjoomien kehittämässä. Asiakassuhteiden ja tuotetarjoomien kehittämisen kohdalla keskeistä on AR:n kyky luoda ulkoista arvoa olemalla osa tarjottavaa tuotetta tai palvelua. Esimerkiksi markkinoinnin ja myynnin tukena AR:llä on jo lukuisia käyttökohteita erinäisissä interaktiivisissa tuotedemonstraatioissa. AR:n potentiaali asiakaskokemusta ja sitouttamista parantavana tarjotun palvelun ominaisuutena, rajautuu kuitenkin lähinnä kuluttajapuoleen, joka on tämän tutkielman aiheen rajauksen ulkopuolella.

Tutkimuksen aiheen eli teollisuuden prosessien kannalta keskeisempi puoli on AR:n sisäinen arvonluonti. Sisäisessä arvonluonnissa AR:n potentiaaliset kustannussäästöt ja tehokkuushyödyt mahdollistavat etenkin kannattavuuteen perustuvan **kilpailuedun** eli operatiivisen erinomaisuuden. PTC (2017) korostaa markkinaraportissaan, että varsinkin toimialoilla, joissa prosessit ovat luonteeltaan haastavia, AR voi työntekijöitä opastamalla mahdollistaa merkittäviä kilpailuetuja esimerkiksi tuotannon järjestelmällisen toiminnan ja tehokkuuden parantamisella. Transaktiohyödyissä esitelty järjestelmä, jossa BAE loi tehtävöohjeistuksia lyhyemmässä ajassa, pienemmin kustannuksin ja nopeammin työntekijöiden saataville osoittaa, että AR voi tehdä tuotannosta **dynaamisemman muutoksiin vastaamisessa** tuotevariaation osalta, minkä seurauksena myös spesifit asiakassegmentit ovat helpommin tavoitettavissa. Työohjeistukset ovat toisaalta pieni osa uuden tuotteen asettamia organisaatiotason haasteita ja siksi muutoksiin reagoinnissa AR:n hyödyntäminen esimerkiksi tuotesuunnittelussa voi olla keskeisempää, vaikkei suunnittelu liity lattiatason prosesseihin.

AR voi luoda arvoa koko arvoketjussa (Porter & Heppelmann, 2017a) ja näin olla välillisenä **organisaatioiden välisten hyödyllisten linkkien muodostamisessa**. Transaktiohyödyissä käyty esimerkki toimitusketjun säästöistä vaatii organisaatioiden välistä informaatiovirtaa ja tämä eri toimijoiden, ja AR:n avulla visualisoitavissa oleva, data voi tuottaa hyötyä kullekin osapuolelle. AR-ohjelmistojen tai 3D-resurssien kehitys ulkoisen kumppanin kanssa taas voi auttaa muodostamaan arvokkaita linkkejä ohjelmointi- ja suunnitteluyrityksiin. Etätuen tapauksessa AR luo ulkoista arvoa, kun yhteys ja apu ovat saatavilla ongelmatilanteissa nopeammin ja näin ollen **tarjoajan ja asiakkaan välinen yhteistyö** voi tiivistyä. AR:ää on tällöin mahdollista soveltaa osana uutta **parempaa palvelua** niin operatiiviseen kustannustehokkuuteen (halvempi palvelu), asiakkaan spesifeihin tarpeisiin vastaamiseen (yksittäisen laitetyypin huoltopalvelut) kuin laatujohtajuuteen (tuki saatavilla välittömästi) pyrkivissä liiketoimintastrategioissa.

AR voi siis auttaa yritystä strategisten tavoitteiden saavuttamisessa, jolloin IT-strategian ja liiketoimintastrategian voidaan katsoa sovittuvan yhteen, mutta Melvillen, Kraemerin ja Gurbaxanin (2004) mukaan IT-hyödyt tarjoavat harvoin kuitenkaan kestäviä kilpailuetuja. Suurimmat hyödyt ovat yleensä saavutettavissa markkinoilla, joissa on vähän tarjontaa ja joissa tuotteita tai palveluita on vaikea kopioida. Ilman tätä kilpailijat voivat ennen pitkää

implementoida samanlaisia järjestelmiä ja saada vastaavia hyötyjä. (Melville ym., 2004). Myös patentit ovat melko tehottomia suojaamaan IT-innovaatioita erityisesti sellaisten järjestelmien kohdilla, joita asiakkaat ja jakelijat pääsevät käyttämään (Peppard & Ward, 2004). Taulukko 3 kokoaa yhteen kirjallisuuskatsauksessa havaitut strategiahyödyt.

Taulukko 3. AR:n mahdollistamat strategiahyödyt

Strategiahyödyt	Saako?	Esimerkkejä
Kilpailuedun luominen	KYLLÄ	Ainakin alussa, kun kilpailijoilla ei ole AR:ää käytössä
ICT-strategian ja liiketoimintastrategian yhteensovittaminen		
Hyödyllisten linkkien muodostaminen toisten organisaatioiden kanssa	KYLLÄ	Ohjelmistosuunnittelu, 3D-suunnittelu, etätuki, toimitusketju
Nopeamman muutokseen reagoinnin mahdollistaminen	Osittain	Uudet työtehtävät muodostettavissa nopeasti
Asiakassuhteiden parantaminen	KYLLÄ	Palvelun tarjoajana: Etätukea voi antaa nopeasti
Parempien tuotteiden ja palveluiden tarjoaminen asiakkaille	KYLLÄ	Laadunvalvonta automatisoitavissa

### 3.2.5 Transformaatiohyödyt

Transformaatiohyödyissä on kyse organisaation muutoksesta ja sitä mahdollistavien rakenteiden ja kyvykkyyksien kehittämisestä IT-investointien avulla (Gregor ym., 2005). Prosessit ja käytänteet ovat oleellisia osia näitä rakenteita, joita IT:n avulla pyritään tehostamaan. AR:n teollista hyödyntämistä tarkastelleista tutkimuksista 4 %:ssa keskeisin saavutettu hyöty oli tuotannon joustavuuden kehittäminen (de Souza Cardoso, Mariano & Zorzal, 2020), mikä voidaan laskea transformaatiohyödyksi varsinkin, kun ottaa huomioon, että joustavuuden parantaminen on yksi Industry 4.0-transformaation keskeisiä tavoitteita. **Prosesseja voidaan kehittää** myös poistamalla toimintoja esimerkiksi huoltopalvelujen ulkoistamisella (Röltgen & Dumitrescu, 2020).

Prosessien kehittämiseksi voidaan laskea myös tehtävän tekeminen miellyttävämmäksi tai turvallisemmaksi. De Pacen ym. (2020) mukaan käyttäjät kokivat robottien kanssa kollaboroinnin mukavampana ja käytettävämpänä AR-käyttöliittymän avulla perinteisiin menetelmiin kuten ohjaussauvojen käyttämiseen verrattuna. Turvallisuutta AR voi parantaa tarjoamalla oikeita työohjeita ja tarkkailemalla ympäristöä (Röltgen & Dumitrescu, 2020). De Souza Cardoson, Marianon ja Zorzalin (2020) mukaan 9 % AR:n teollista hyödyntämistä tutkivista julkaisuista operatiivinen turvallisuus ja käyttäjän terveys olivat tärkeimpiä saavutettuja hyötyjä, joskin he laskivat terveyskategoriaan myös informaatiohyötyjä muistuttavan kognitiivisen taakan keventämisen.

Koulutuksessa AR:n rooli on visualisoida koulutettavalle asioita, joita ei normaalissa koulutustilanteessa olisi huomattavissa. Kuten aiemmin esiteltiin,

AR:n avulla käyty koulutus jää paremmin koulutettavan mieleen. AR voi näin antaa koulutuksen myötä **korkeamman taitotason työntekijälle**. Niin sanottu "learnability" eli tuotteiden tai käyttöliittymien käytön oppimisen helppous on hyöty, jota AR-järjestelmät voivat tarjota, tarkoittaen, että AR-järjestelmät voivat tehdä tehtaan laitteista tai prosesseista helpommin omaksuttavia (de Souza Cardoso, Mariano & Zorzal, 2020). Transaktiohyödyissä läpikäydyn työntekijöiden osaamisen matalamman vaatimustason vastapuolena on, että järjestelmä voi opastaa tarvittavat taidot kenelle tahansa henkilölle. Lisäksi AR:n avulla yritykset kykenevät pitämään itsellään hallussa prosessien vaatimia tietotaitoja, kun taas kokeneiden työntekijöiden kouluttaessa uusia työntekijöitä tietotaitoa vaihdetaan vain näiden henkilöiden välillä (Fiorentino ym., 2014). Järjestelmiin taltioidun työohjeistusten ja prosesseista kerätyn datan voidaan katsoa **nostavan koko organisaation kyvykkyyksiä**, koska tieto on kaikkien sitä tarvitsevien saatavissa.

Yksi mahdollisista transformaatiohyödyistä on liiketoimintamallien parantaminen. Jo useasti mainittu etätuki huollon toteuttamiseksi on esimerkki AR:n mahdollistamista uusista liiketoimintamalleista, jonka de Souza Cardoso, Mariano & Zorzal (2020) näkevät perinteisiä huoltotoimintoja disruptoivana eli toimialaa tai markkinaa mullistavana innovaationa, joka voi poistaa asiakkaan tarpeen kohteessa paikalla olevalle asiantuntijalle. Jopa 69 % teolliseen kontekstiin kehitetyistä AR-patenteista liittyy tällaisin palveluihin (de Souza Cardoso ym., 2020). Xeroxin kokeilema järjestelmä, jossa etäyhteyden ja AR-ohjelmiston avulla asiakasta opastettiin tulostimen korjaustoimenpiteen läpi, päätyi laskemaan paitsi vikojen korjaamisaikaa, myös Xeroxin omien korjaajien matkustustarvetta 76 %:lla. (Porter & Heppelmann, 2017a). Etätukipalvelut tarjoavat siis merkittävän **potentiaalisen liiketoimintamallin** ainakin AR:n alkuvaiheissa, kun huoltotehtäviä automaattisesti opastavia AR-järjestelmiä tutkitaan yhä. **Uudet liiketoimintasuunnitelmat** ovat mahdollisia uusien liiketoimintamallien pohjalta. Taulukko 4 kokoaa yhteen kirjallisuuskatsauksessa havaitut transformaatiohyödyt.

Taulukko 4. AR:n mahdollistamat transformaatiohyödyt

Transformaatiohyödyt	Saako?	Esimerkkejä
Korkeampi taitotaso työntekijöille	KYLLÄ	Intuitiiviset käyttöliittymät, laadukkaampi koulutus
Uusien liiketoimintasuunnitelmien kehittäminen	Osittain	Uudet liiketoimintasuunnitelmat uusien liiketoimintamallien pohjalta
Organisaation kyvykkyyksien laajentaminen	KYLLÄ	Organisaatiolla enemmän tietoa saatavilla/käytettävissä
Liiketoimintamallien parantaminen	KYLLÄ	Etätuki voi muuttaa merkittävästi huoltoliiketoimintaa
Organisaation rakenteiden/prosessien parantaminen	KYLLÄ	Mukavammat/ turvallisemmat/ joustavammat prosessit

### 3.3 AR:n haasteet

Aidan-Smith & Green (2002) kokoavat lukuisiin lähteisiin viitaten, että tyytymättömyys uutta käyttöönotettavaa teknologiaa kohtaan voi johtaa stressiin, työn hidastumiseen, teknologian käyttämättömyyteen, käytöstä kieltäytymiseen tai tahalliseen väärinkäyttöön, jotta uutta teknologiaa tai prosessia ei tarvitsisi enää käyttää (Aiman-Smith & Green, 2002). Lisättyä todellisuutta vaivaa vielä lukuisat haasteet, jotka rajoittavat sen laaja-alaista käyttöönottoa. Useista positiivisista piloteista ja laboratorio-olosuhteissa toteutetuista tutkimuksista huolimatta AR:n käyttöönoton aste teollisuudessa on vielä suhteellisen matala ja yritykset hakevat yhä todisteita AR:n konseptin toimivuudesta (Jetter, Eimecke & Rese, 2018). Tällä hetkellä niin AR-lasit, mobiililaitteet kuin myös projektiolla toteutettavat AR-järjestelmät sisältävät haasteita niin teknologisissa ratkaisuissa, laitteiden ergonomiassa kuin myös sosiaalisten käyttöönoton hidasteiden ylittämässä (van Lopik ym., 2020).

Suuri osa seuraavissa luvuissa käsiteltävistä haasteista liittyy eritoten AR-lasien haasteisiin tai AR:ään yleisesti. Tähän liittyy oletamus, että mobiililaitteet ovat jo saavuttaneet saavutettavissaan olevat hyötynsä. Ne ovat pienin investoinnein hankittavissa ja yleisesti hyväksytyjä, mutta niitä vaivaa yksi fundamentaalinen ongelma: mobiililaitteet vaativat käsiä niiden käyttämiseen tai pitelemiseen. Uusien akateemisten julkaisujen ja AR:ään liittyvien patenttien fokuoituessa yhä vahvemmin AR-laseihin (de Souza Cardoso, Mariano & Zorzal, 2020) on oletettavissa, että AR-lasit tulevat yleistymään, kun niitä vaivaavat haasteet selätetään.

#### 3.3.1 Teknologiset haasteet

Lisätyn todellisuuden yleistymistä on aina 60-luvulta saakka hidastanut lukuisat teknologiset haasteet, eikä AR-lasien niin kutsuttu teknologinen valmiustaso ole vieläkään riittävällä tasolla. Teknologisella valmiustasolla tarkoitetaan NASA:n kehittämää asteikkoa 1–9, jossa 1 tarkoittaa tutkimisastetta ja 9 valmiutta käyttöönotettavaksi (NASA, 2012). Danielsson, Holm ja Syberfeldt (2020) määrittelevät, että AR-lasien erittäin keskeiset komponentit eli AR-lasien näyttöjen kategoria ja seuranta-, interaktio- ja käyttöliittymä - kategoria saavat arvosanat 7 ja 5, mikä NASA:n luokituksen mukaan osoittaa, että kehitystä tarvitaan vielä näillä kummallakin osa-alueella.

Teollisuuden tarpeet asettavat korkeat vaatimukset teknologian käytettävyydelle ja luotettavuudelle reaali maailman objektien paikantamisessa ja seuraamisessa (Palmarini ym., 2018). Virtuaalisten ja fyysisten objektien yhteensovittaminen tarkalleen samaan sijaintiin on erittäin tärkeää (Quandt ym., 2018), mutta se on myös yksi AR:n suurimpia heikkouksia tällä hetkellä (De Pace ym., 2020), kuten teknologisen valmiusasteen heikko arvosana osoittaa. Väärin sijoitettu sisältö voi tarkoittaa esimerkiksi sitä, että huoltoteknikko poraa reiän väärään kohtaan. De Souza Cardoso, Mariano ja Zorzal (2020) tiivistävät eri tutkimusten perusteella, että markkerittomat

metodit eivät ole vielä riittävällä maturiteetin asteella kyetäkseen paikantamaan ympäristöään tarkasti, kun taas markkereihin perustuvan seurannan ongelma on, että markkeri voi peittyä esimerkiksi tuotetta koottaessa tai työkalua käytettäessä, jolloin järjestelmä ei enää näe, mihin sijoittaa virtuaalinen sisältö.

Yksi AR-lasien näyttöjen yleisesti tunnistettu ongelma on hyvin rajallinen näkökenttä, jolle virtuaalista sisältöä on mahdollista sijoittaa AR-laseissa. Toisin sanoen näkökentän reunoilla on eräänlainen ”kuollut alue”, jolle virtuaalista sisältöä ei voida heijastaa optisissa eli läpinäkyvissä AR-laseissa. Dini ja Dalle Mura (2015) mukaan tämä vaikeuttaa virtuaalisen sisällön etsimistä tai näkemistä kokonaisuutena, mikä puolestaan vaikeuttaa työtehtävien suorittamista ja voi aiheuttaa vaaratilanteita, mikäli jokin oleellinen informaatio piiloutuu rajallisen näkökentän ulkopuolelle. Danielssonin, Holmin ja Syberfeldtin (2020) mukaan vuonna 2016 julkaistuissa HoloLens-laseissa näkökentän alue oli horisontaalisesti 35 astetta, mutta 2020 julkaistuissa HoloLens2-laseissa on jo 52 asteen laajuinen alue. Ihmisen normaali näkökenttä yhdellä silmällä on horisontaalisesti noin 150 astetta ja 180 astetta kahdella silmällä, johon tällä hetkellä mikään optisiin läpinäkyviin näyttöihin tai videonäyttöihin perustuva AR-laitteisto ei kykene. (Danielsson ym., 2020).

Myös digitaalisten sisältöjen graafinen laatu on yksi optisten AR-lasien oleellisista kehityskohdista. (Dini & Dalle Mura, 2015). Kuvanlaadun ongelmia ovat muun muassa matala resoluutio, epämääräiset muodot ja viive virtuaalisten ja fyysisten objektien välillä (De Souza Cardoso, Mariano & Zorzal, 2020; Quandt ym., 2018). AR-lasien käyttöä, esimerkiksi sen kykyä hahmottaa ympäristöä tai näyttää kirkkaana virtuaalista sisältöä, hankaloittaa lisäksi vaihteleva valoisuus, minkä vuoksi nykyiset järjestelmät eivät sovellu jokaiseen ympäristöön (Dini & Dalle Mura, 2015). Videonäyttöratkaisujen täysin digitaalisesti muodostettava kuva on korkealaatuisempi kuin optisten linssien tapauksessa, mutta ongelmaksi muodostuu esimerkiksi pieni viive reaali maailman tapahtumien ja kameran kautta näytöllä tapahtuvien asioiden välillä (Syberfeldt ym., 2016). Masoodin ja Eggerin (2020) case-tutkimuksissa haastatteleman kolmen yrityksen kohdalla kaikkien mielestä optisissa AR-laseissa esitettävän informaation näkyvyys on jo kuitenkin riittävällä tasolla, mikä voi osoittaa, että osa laitteista alkaa maturoitua riittävälle tasolle ainakin tiettyjen toimijoiden tarpeisiin tai että ohjelmistokehittäjät ovat oppineet soveltamaan AR-laseja niiden tarjoamien mahdollisuuksien rajoissa.

AR-lasit vaativat käyttöönotettaessa luonnollisesti investointeja. Teknologian maturoitumisen voi odottaa alkavan näkyä laitteiden hinnoissa ennen pitkää. Tällä hetkellä HoloLens 2-lasien hinnat alkavat 3900 eurosta (Microsoft, n.d.). Laitteinvestointien jyrkät hinnat ovat yksi suuri käyttöönoton hidaste tällä hetkellä (Quandt ym., 2018), joskin Masoodin ja Eggerin (2020) toteuttamissa haastattelemissa yrityksissä hinnat koettiin jo riittävän alhaisiksi. Taulukko 5 kokoaa yhteen tässä kappaleessa erityisesti AR-laseihin liittyvät teknologiset haasteet, joista osa koskee myös AR:ää laitteesta riippumatta. AR-laitteiden järjestelmiin integrointiin ja IT-infrastruktuurin vaatimukseen liittyviä aiheita käsitellään tarkemmin vasta myöhemmissä luvuissa.



Taulukko 5. AR-lasien teknologiset haasteet

AR-lasien teknologiset haasteet:	Esimerkkejä:
Fyysisen kohteen seuranta ja virtuaalisen kohteen sijoittaminen	Virtuaalinen sisältö "hyppii" näytöllä väärissä kohdissa
Rajoitettu näkökenttä	Virtuaalinen sisältö nähtävissä vain rajatulla alueella
Kuvanlaatu	AR-lasien pinnalle heijastettava sisältö ei tarpeeksi terävä tai kirkas
Viive virtuaalisten objektien liikkeissä	Päätä liikuttaessa virtuaalinen sisältö liikkuu viiveellä
Hinta	iPadin hinta noin 10 % esim. HoloLens 2:n hinnasta
Taustateknologia (integraatiot, verkkoyhteys, AR-sisältö)	AR-lasit vaativat yhteyden, dataa järjestelmistä, sekä sisältöjä

### 3.3.2 Käyttöön liittyvät haasteet

Dinin ja Dalle Muran (2015) mukaan yksi AR-lasien keskeinen ongelma on laitteiden vaivalloisuus ja paino. Masoodin ja Eggerin (2020) kolmessa case-tutkimuksessa kaikkien haastateltujen yritysten mielestä laitteet olivat liian painavia pitkäkestoiseen käyttöön. Liika paino voi aiheuttaa esimerkiksi lihaskivyt ja päänsärkyä. Chin (2013) mukaan kevyempien Google Glass -älylasien tapauksessa käyttäjät kokivat painon kohdistuvan etenkin nenälle. HoloLens 2 ja muut päähän asetettavat näytöt ovat Google Glass -älylaseja merkittävästi kookkaampia ja painavampia, mutta tyypillisesti niissä on sankojen sijaan panta, jolla laite kiristetään päähän. Osa AR-laitteista ratkaisee akkujen aiheuttaman lisäpainon johdoilla tai selkään kiinnitetyillä akuilla, mutta laitteet eivät saisi rajoittaa liikkuvuutta. (De Souza, Mariano & Zorzal, 2020).

HoloLens 2-lasien Trimble XR10-versiossa lasit on integroitu turvakypärään, millä niin ikään ohjataan painoa pois nenältä ja korvilta samalla täytettäessä turvakypärien käyttöön liittyvät vaatimukset (Microsoft, n.d.). Kaikki AR-lasit eivät sovi käytettäväksi turvakypärien kanssa. Toinen turvallisuuteen liittyvä haaste on myös se, että kaikki AR-lasit eivät sovellu suojalasiensa kanssa käytettäväksi. Myös silmälasien käyttö voi olla epämukavaa tai mahdotonta tiettyjen AR-lasien kanssa (De Souza Cardoso, Mariano & Zorzal, 2020). AR-lasien soveltuvuutta rajoittaa myös kuumat lämpötilat ja mahdolliset roiskeet esimerkiksi hitsaustehtävissä (Quandt ym., 2018). AR-lasit voivat muutenkin hiostaa pitkässä käytössä, minkä takia yhteiskäytössä olevien laitteiden hygieniaan liittyvä huoli ilmenee varsin usein (van Lopik ym., 2020).

Yksi hyvin yleinen kritiikin aihe on, että AR-lasien akkujen kesto ei ole riittävä pitkäkestoiseen käyttöön (mm. Dini & Dalle Mura, 2015; Quandt ym., 2019; van Lopik ym., 2020). Akkujen olisi hyvä kestä vähintään työvuoron ajan tai laitteiden mahdollistaa nopea ja vaivaton vaihtaminen, jottei työnteko katkea (Danielsson, Holm & Syberfeldt, 2020). Akkujen koon kasvattaminen ei toisaalta ole ratkaisu ongelmaan, koska tällöin laitteiden paino nousee nopeasti. Dini ja Dalle Mura (2015) lisäävät, että AR-lasien käyttöä haittaa myös rasitus

silmille. Virtuaalisen sisällön liikkuminen reaaliajassa fyysisessä ympäristössä on tärkeää (Quandt ym., 2018), sillä, kuten aiemmin on käsitelty, viive liikkeessä voi aiheuttaa huimausta ja pahoinvointia (de Souza Cardoso, Mariano & Zorzal, 2020).

Van Lopikin ym. (2020) case-tutkimusten perusteella osa käyttäjistä ei kokenut AR-lasien ääni- ja käsieleiden käyttöä miellyttäväksi. Masoodin ja Eggerin (2020) haastatteluiden mukaan ääniohjaus asettaa suuria haasteita äänekkäissä ympäristöissä, kun taas käsieleet voivat vaatia lisätilaa työpisteen ympärille, mikä voi asettaa vaatimuksia tehdasasettelun muutoksille tai riskejä työturvallisuuteen. Lisäksi käsieleiden tunnistamisen pitää kehittyä luotettavammaksi. (Masood & Egger, 2020). Esimerkiksi käsieleiden uutuus käyttökontrolleina voi olla yksi selitys koetuille vaikeuksille (Quandt ym., 2018). De Pacen ym. (2020) mukaan AR-lasien käyttöliittymiä tulisi kehittää yhä enemmän käyttäjälähtöisestä näkökulmasta huomioiden suurempi määrä erilaisia käyttäjiä ja heidän osaamistasojansa, jotta opitaan lisää käyttöliittymien käytettävyydestä ja hyväksyttävyydestä.

Mobiililaitteilla toteutettavan AR:n haasteet liittyvät lähinnä käyttäjän liikkuvuuteen ja tehtävien suorittamisen rajoittumiseen mobiililaitteen pitelyn takia, mikä voi estää mobiili-AR:n soveltamisen tiettyihin työtehtäviin. Projektorien tapauksessa puolestaan laitteet ovat painavia ja rajoittavat liikkuvuutta, minkä lisäksi projektiot ovat näkyvissä kaikille herättäen tietoturvaluolia (Blattgerste ym., 2017). Projektiot voivat myös peittyä esimerkiksi työntekijän itsensä muodostaessa varjon projektion päälle, jolloin hyödyt eivät toteudu ja järjestelmä voi olla haitaksi. (De Souza Cardoso, Mariano & Zorzal, 2020). Taulukko 6 kokoaa yhteen tässä kappaleessa AR-laitteiden käytön haasteet, koskien erityisesti AR-laseja tai AR:ää yleisesti.

Taulukko 6. AR-lasien käyttöön liittyvät haasteet

<b>AR-lasien käyttöön liittyvät haasteet:</b>	<b>Esimerkkejä:</b>
Paino	HoloLens 2 painaa 566g, mikä pitkässä käytössä rasittaa lihaksia
Turvallisuusvaatimusten täyttäminen	Turvakypärä- ja suojalasivaatimukset voivat rajoittaa AR-lasien käyttöä
Käyttö silmälasien kanssa	Silmälasit eivät välttämättä sovi AR-lasien alle
Käyttö haastavissa olosuhteissa	Käyttö vaikeaa äänekkäissä, ahtaassa tai kuumassa ympäristössä
Käytöstä aiheutuva rasitus silmille tai pahoinvointi	Virtuaalisen sisällön viive voi aiheuttaa huimausta tai pahoinvointia
Epähygienisyys	Laitteet voivat hiostaa, mikä aiheuttaa epämukavuutta yhteiskäyttölaitteissa
Akkujen kesto suhteessa niiden painoon	AR-lasien käyttöaika liian lyhyt, suuremmat akut nostavat painoa
Uudet/haastavat käyttökontrollit	AR-lasien ääni-/käsielekkomennot eroavat aiemmista teknologioista

### 3.3.3 Sosiaaliset ja yhteiskunnalliset haasteet

Teknologisten haasteiden lisäksi on mahdollista havaita sosiaalisia haasteita, joita lisätty todellisuus ja erityisesti AR-lasit voivat tuoda mukanaan. Aiman-Smithin ja Greenin (2002) mukaan mullistavat ja monimutkaiset teknologiat ovat joko vaikeampia implementoida, vaativat suunniteltua enemmän aikaa ja rahaa implementointiin tai eivät saavuttaneet odotettuja tuottavuus- ja laatuhyötyjä. Teknologian mullistavuudella ja monimutkaisuudella he tarkoittavat ennen kaikkea vertailua aiemmin käytössä olleisiin teknologioihin. (Aiman-Smith & Green, 2002). AR:n käyttöönotto voidaan helposti tulkita radikaaliksi muutokseksi tehdastyöhön.

Suuret muutokset prosesseihin aiheuttavat usein muutosvastarintaa. Työntekijät voivat kokea AR:n vieraana ja sen vaikutukset työtehtäviin tuntemattomina, erityisesti kokeneempien työntekijöiden tapauksessa (Masood & Egger, 2020). AR:n vaihe vaiheelta kontrolloiva opastus esimerkiksi tuotannossa voi saada työntekijän tuntemaan olonsa eräänlaiseksi ihmisrobotiksi muiden robottien rinnalla (Büttner ym., 2017). Jetterin, Eimecken ja Resen (2018) haastatteluissa käyttäjien keskuudessa esiin nousseita huolia olivat myös pelot tuottavuusparannuksien vaikutuksista henkilöstön määrään, työsuoritusten automaattinen dokumentoituminen ja asiantuntijastatuksen menettäminen vanhojen menetelmien korvaantuessa uusilla. Quandt ym. (2018) nostavat esiin myös työntekijöiden ilmaisemia huolia kerättävän datan hyödyntämistarkoituksista, korvatuksi tulemisesta, liiallisista vaatimuksista ja epäluottamuksesta työnantajan tarkoituksiperiä kohtaan. Tällaiset huolet eivät tarjoa erityisen hedelmällisiä lähtökohtia implementoinnille, jolloin hyötyjä on myös vaikea myydä työntekijöille. Myös luottamus automatisoituun ohjeistuksen tarkkuuteen voi vaatia aikaa ja olla haaste alussa (Büttner ym., 2017).

Informaation saatavuus voi tietyissä tilanteissa aiheuttaa negatiivisia vaikutuksia. Bowman, Banks ja Westerman (2016) havaitsivat tutkimuksessaan, että keskustelukumppanista tietoa Google Glass -älylasien välityksellä saaneet henkilöt osoittivat vähemmän keskittymistä ja heidän keskustelunsa pysyivät heikommin aiheessa. Heidän mukaansa AR-lasien käyttäjät olivat myös ärtyneempiä vuorovaikutustilanteissa, jossa lasit antoivat lisäinformaatiota keskustelukumppanista keskustelun aikana. (Bowman ym., 2016). Ärtymys ja keskittymiskyvyn herpaantuminen eivät saa olla ongelmia teollisessa käytössä suurten koneiden äärellä työskennellessä. Masood ja Egger (2020) raportoivat yhden case-tutkimuksissaan haastattelemistä yrityksestä kokeneen AR:n aiheuttaneen häiriötä lattiatasolla.

Yhteiskunnallisesta näkökulmasta AR-lasien tulo tuonee mukanaan monia laillisia kysymyksiä muun muassa teknologian käytöstä autoa ajaessa tai elokuvateatterissa istuessa (Rauschnabel, Brem & Ro, 2015). Teollisuudessa on niin ikään mietittävä tarkasti, milloin laseja saa käyttää ja onko esimerkiksi viestintäsovelluksien käyttö sallittua laseja käyttäessä. Yritysten näkökulmasta esimerkiksi uudet GDPR-tietosuojasetukset asettavat tiettyjä säädöksiä, miten

ja mitä tietoa yritykset saavat kerätä työntekijästä. AR:n kaltainen teknologia mahdollistaa niin yrityksille, viranomaisille kuin myös kyberrikollisille uusia keinoja kerätä ja hyödyntää tietoa ihmisistä, joten yritysten tulee varmistaa yrityksen järjestelmien ja työntekijöidensä tietoturva. On kuitenkin merkille pantavaa, että de Souza Cardoson, Marianon ja Zorzalin (2020) tutkimasta 120 akateemisesta AR:n käyttöä teollisuudessa tutkivasta julkaisusta yksikään ei käsitellyt laillisia näkökantoja tai ammattitauteja, joita AR:n käyttö voisi aiheuttaa. Kuitenkin Perkins Coien (2020) markkinaraportissa 14 % XR-alan asiantuntijoista mainitsi AR:n suurimpana hidasteena lailliset riskit ja regulaatoriskit, joita koskevia aiheita ovat yksityisyys ja tietoturva, käyttäjien terveys ja turvallisuus, IP-oikeus rikkomukset ja erinäiset vastuut esimerkiksi onnettomuuksista, joita voi seurata laitteen tai ohjelmiston käyttämisestä (Perkins Coie, 2020). Tässä on selvästi kohta, johon tulisi paneutua tarkemmin AR:n käyttöönoton alkaessa yleistyä. Taulukko 7 kokoaa yhteen kaikki tässä kappaleessa käsitellyt, erityisesti AR-laseihin liittyvät, sosiaaliset ja yhteiskunnalliset haasteet, joista osa koskee myös AR:ää laitteesta riippumatta.

Taulukko 7. AR-lasein sosiaaliset ja yhteiskunnalliset haasteet

<b>AR-lasien sosiaaliset ja yhteiskunnalliset haasteet:</b>	<b>Esimerkkejä:</b>
Yleinen muutosten vastustus	Ei haluta muuttaa tuttuja toimintatapoja
Huoli prosessien muuttumisesta ja uusista vaatimuksista	Tunne, että on pakko oppia / painostetaan käyttöönottoon
Pelko työpaikan menettämisestä	Opastavat järjestelmät laskevat työvoiman osaamisvaatimuksia
Pelko asiantuntija-aseman menettämisestä	Uusi teknologia on kaikille uutta, muut voivat oppia nopeammin
Epäluottamus työnantajan todellisia tarkoituksia kohtaan	Järjestelmä voi kirjata työntekijöiden prosessien suorittamisaikoja
Tarkkailtuna olemisen tunne	AR-lasit voivat seurata kaikkea mitä käyttäjä tekee
Epäluottamus automatisoituun ohjeistukseen	Käyttäjä ei luota, että järjestelmä osaa neuvoa tehtävän suorittamisen
Keskittymiskyvyn herpaantuminen AR-lasien takia	AR-lasien näytöllä näkyvä informaatio voi viedä huomion
Lailliset seikat	Yksityisyys, tietoturva-asetukset, työturvallisuusriskit

### 3.4 AR, IT-Infrastrukturi ja taustajärjestelmät

AR-järjestelmien eri asteet vaikuttavat tarvittavaan dataan. Etätuen tapauksessa pelkkä AR-laite, kuten älypuhelin ja verkkoyhteys linjan toisessa päässä olevaan etäasiantuntijaan riittää. Työohjeita opastavan järjestelmän tulee jo osata tunnistaa kohde ja vaihe, jota se on opastamassa, mutta järjestelmään valmiiksi asennettuna ohjelmisto ei välttämättä tarvitse Internet-yhteyttä. Tarve

reaaliaikaiselle tiedolle kuitenkin kasvaa Industry 4.0:n muuttaessa prosesseja. Informaatiohyötyjen mahdollistamiseksi AR:n tulisi olla yhteensopiva ja yhteydessä ympäröiviin järjestelmiin ajankohtaisen tiedon tarjoamiseksi (Danielsson, Holm & Syberfeldt, 2020). Koneista saatavan datan reaaliaikainen visualisointi, dataan pääseminen ja koneiden kontrollointi virtuaalisilla käyttöliittymillä tarjoavat lukuisia hyötyjä, mutta vaativat verkkoyhteyden sekä integraation organisaation IT-infrastruktuuriin (Masood & Egger, 2020).

Yksi haaste yhteyksien osalta seuraa maailmanlaajuisista asiakaskunnista, jolloin esimerkiksi huoltoteknikot ovat niin ikään ympäri maailmaa (Porcelli ym., 2013). Jos yritys päätyy suorittamaan huollot AR-järjestelmien avulla perinteisten menetelmien sijaan, AR-järjestelmien olisi toimittava sekä tehtaissa että kentällä. Esimerkiksi Quandt ym. (2018) tutkivat AR:n käyttöä tuulivoimalaitosten huoltamisessa, joissa ongelmaksi nousi puuttuvat tai epäluotettavat verkkoyhteydet. Heidän esittelemä ennalta ohjelmoitu opastava järjestelmä voi toimia ilman yhteyttä, mutta reaaliaikaista dataa hyödyntävissä AR-järjestelmissä huoltokohteen dataan pääseminen ilman toimivaa verkkoyhteyttä ei ole mahdollista. Samassa tutkimuksessa AR:ää testattiin myös hitsauskoulutuksessa, joka oli sijainnista riippumaton ja paikallaan pysyvä, jolloin verkkoyhteys ei osoittautunut ongelmaksi. (Quandt ym., 2018).

Datan hyödyntämiseen tarvitaan luonnollisesti tapa kerätä dataa. Standardisoitu kommunikaatio eri koneiden välillä parantaisi AR:n integroitavuutta olemassa oleviin tuotantojärjestelmiin (Danielsson, Holm & Syberfeldt, 2020). Valmiiden alustojen, kuten Jetterin, Eimecken ja Resen (2018) testaaman Bosch CAP:in, yleistymisen voisi laskea merkittävästi kustannuksia AR-ratkaisuille räätälöityihin ohjelmistoihin verrattuna, mutta tämäkin vaatisi laajempaa datamuotojen standardointia OEM:iltä eli alkuperäisiltä laitevalmistajilta. Standardointikehityksen uskotaan kuitenkin jatkuvan (Danielsson ym., 2020).

Dataa on mahdollista saada erinäisistä koneisiin integroiduista sensoreista (Danielsson, Holm & Syberfeldt, 2020), ja internetyhteyden välillä sitä voidaan lähettää taustajärjestelmiin. Viime vuosien aikana tuotantolinjojen koneet ovat yhä enemmän varustettuja koneiden monitorointiohjelmistoilla yllättävien vikojen ja sitä myötä kalliiden korjaustoimenpiteiden ja tuotannonseisausten estämiseksi (Mourtzis ym., 2017). Keskeisintä tuotantokoneista saatavaa dataa ovat logiikkaohjelman lähettämä tieto mittarien arvoista, lähestymiskytkimistä, turvareleistä, erinäisistä sensoreista ja hälytyksistä (Rosales, Deshpande & Anand, 2021). Mourtzisin ym. (2017) huoltotehtäviin kehittämä järjestelmä lähettää monitoroitavasta koneesta virta- ja jännitesensorien avulla tietoa, johon perustuen koneen tila, käyttöaika, koneen käyttöaste ja saatavuus ovat selvitettävissä. Käyttöaikaan ja aiempien viasta johtuvien käyttökatkosten keskiarvoon perustuen myös arvio käyttöajasta ennen seuraavaa käyttökatkosta oli muodostettavissa ja visualisoitavissa AR:n avulla huoltoteknikolle. (Mourtzis ym., 2017).

Rosalesin, Deshpanden ja Anandin (2021) mukaan raakadatan siirtämiseen niin sanotuista legacy-koneista eli vanhemman kehitysvaiheen

aikaisista valmistuskoneista ja tietokoneistettuun numeeriseen ohjaukseen perustuvista valmistuskoneista käytetään usein MTConnect-standardia. MTConnect-standardia kehittämässä ollut Tom Copeland kertoo, että standardi mahdollistaa ”reaaliaikaisen datansiirron tehtaan lattiatason laitteiston kuten työstökoneiden ja tietokonejärjestelmien kesken” (Copeland, 2021). MTConnect ei kuitenkaan mahdollista kaksisuuntaista kommunikointia laitteiden ja järjestelmien välillä toisin kuin OPC UA-standardissa, minkä Rosales ym. (2021) näkevät keskeisenä toimintona muun muassa vianmäärityksessä. Tutkijoiden esittelemässä AR:ään perustuvassa vianmääritysjärjestelmässä teollisen koneen reaaliaikainen data lähetetään palvelimelta SCADA-valvontaohjelmistoon, jonka tehtävä on automatisoidusti monitoroida ja hallita prosesseja lähetettyyn dataan perustuen. (Rosales ym., 2021).

Porter ja Heppelmann (2017b) korostavat AR:n mahdollisuuksia yhdistettynä digitaaliseen kaksoseen. Digitaalinen kaksonen on digitaalinen mallinnus fyysisestä tuotteesta tai tilasta ja Donoghuen ym. (2018) mukaan se muodostuu neljästä elementistä, jotka ovat: fyysinen osa, virtuaalinen osa, datalinkki fyysisestä osaan virtuaaliseen osaan sekä informaatiolinkki virtuaalisesta osasta fyysiseen osaan tai toisiin virtuaalisiin osiin. Kyse on siis fyysisten asioiden virtuaalisista ilmentymistä, joilla voidaan mallintaa ja simuloida fyysisen asian toimintaa. (Donoghue ym., 2018). Tämä virtuaalinen ilmentymä voi olla esimerkiksi CAD-malli suunniteltavasta tuotteesta tai tehtaasta tai digitalisointi jo olemassa olevasta tuotteesta tai tehtaasta (Porter & Heppelmann, 2017b). Teollisuuden fyysisistä koneista jatkuvasti kerättävä data antaa digitaaliselle kaksoselle saman tilan ja tämä valtava määrä dataa on mahdollista yhdistää ja strukturoida sisältäen tiedon väliset suhteet ja metainformaation (Rosen ym., 2015). Suuret kerättävät datamäärät mahdollistavat entistä tarkemmat simulaatiot.

Zhun, Liun ja Xun (2019) mukaan teollisuudessa AR:ää ja digitaalista kaksosta voidaan hyödyntää yhdessä esimerkiksi suunnittelussa, valmistuksessa, diagnostiikkatietojen tarkastelussa ja huollossa, eli käytännössä koko tuotteen elinkaaren ajan. Suunnitteluvaiheessa kehitetty 3D-malli, esimerkiksi valmistuskone on mahdollista sijoittaa asiakkaan tehtaan digitaaliseen kaksoseen, jolloin virtuaalisesti voidaan tarkastella sen toimivuutta suunnittelussa tilassa (Zhu ym., 2019). AR:n avulla kyseinen virtuaalinen malli on tarkasteltavissa oikeassa ympäristössä. Rosenin ym. (2015) mukaan valmistuksen aikana digitaalinen kaksonen voi tarjota reaaliaikaisia laskelmia tuotantoajoista, kuluista ja vaadittavista materiaaleista sekä simulaatioihin perustuen arvioida tulevia tarpeita. Huolto- ja diagnostiikkatehtävissä AR:llä voidaan visualisoida esimerkiksi osia, jotka ovat digitaalisen kaksosen datan perusteella kuluneita tai kovan rasituksen alla, ja simulaatioiden perusteella vaarassa aiheuttaa ongelmia myöhemmässä vaiheessa. (Rosen ym., 2015).

### 3.5 Teollisen AR:n nykytila

Yleisesti ottaen teknologiset haasteet ja teknologian käyttöön sekä sosiaalisiin aspekteihin liittyvät huolet ovat varsin yleisiä uusien teknologioiden tapauksessa ja onkin mahdollista, että yleistymisen myötä nämä ongelmat ratkeavat käyttäjien tottuessa niihin. Xpert Digitalin (2021) julkaiseman raportin mukaan mobiili-AR-markkinan suuruus yritys- ja teollisuuskentässä vuonna 2020 oli 2,58 miljardia dollaria maailmanlaajuisesti. Vuodelle 2021 tämän ennustetaan nousevan 3,1 miljardiin, mutta kasvutahdin nähdään hidastuvan vuoteen 2024 mennessä 3,78 miljardiin, mikä tarkoittaa vuosille 2021–24 alle 7 %:n vuotuista kasvua. Yritysten investointien AR-laseihin liittyvään laitteistoon ja ohjelmistoon nähdään kasvavan vuoden 2020 1,33 miljardista dollarista vuoteen 2024 mennessä 12 miljardiin yli 70 prosentin vuotuisella kasvuvauhdilla, mikä korostaa AR-laseissa nähtävää potentiaalia mobiili-AR markkinaa verrattuna. (Xpert Digital, 2021). Vuonna 2018 de Souza Cardoson, Marianon ja Zorzalin (2020) analysoimista tutkimuksista 54 % ja patenteista 86 % koskivat AR-laseihin perustuvia ratkaisuja.

Kuten aiemmin todettua, de Souza Cardoson, Marianon ja Zorzalin (2020) tutkimasta 121 akateemisesta julkaisusta vain 5 % oli toteutettu todellisessa teollisuusympäristössä. Yritykset tekevät yhä niin sanottuja ”POCeja” (proof-of-concept) eli hakevat todisteita AR-konseptin toimivuudesta, mikä osoittaa tiettyä epävarmuutta AR:ää kohtaan (Jetter, Eimecke & Rese, 2018). Tämä voidaan tulkita siten, että yritykset ovat kiinnostuneita AR:n mahdollisuuksista, mutta tuotannon prosesseja ei haluta vaarantaa (de Souza Cardoso ym., 2020). Myös PTC:n (2017) markkinaraportti huomauttaa, että suuri osa sen asiakkaiden projekteista on pilotointeja, joissa AR:n tuottamaa arvoa vielä testataan. Pilotteja on kuitenkin organisaatioiden sisäisestikin useampiin käyttökohteisiin. Vuonna 2017 PTC:n asiakkaista 22 % oli siirtämässä AR:n käyttöönottoon todellisessa tuotantoympäristössä kuuden kuukauden sisällä (PTC, 2017), kun taas vuoden 2019 vastaava luku oli 37 % (PTC, 2019). Toisaalta vuonna 2019 haastatelluista yrityksistä vain 4 % kertoi AR:n olevan jo käytössä tuotannossa (PTC, 2019). Yritysten määrä, joilla ei ollut suunnitelmaa AR:n käyttöönotolle, laski 20 %:sta 0 %:iin vuosien 2017 ja 2019 välillä (PTC, 2017; PTC, 2019). On oleellista huomauttaa, että tutkittavat yritykset edustavat PTC:n ThingWorx Studio- AR-kehitystyökalun olemassa olevia asiakkaita, eikä lukuja voi sellaisinaan yleistää koskemaan kaikkia teollisuustoimijoita. Havaintojen tärkein anti lienee, että suunnitelmia AR:n käyttöönotolle selvästi on, mutta teknologian maturoituminen vaatii vielä aikaa.

Teollista AR:ää käsittelevän akateemisen tutkimuksen keskus vaikuttaisi olevan Eurooppa, josta on peräisin 63 % tutkimuksista, joissa tarkastellaan AR:n käyttöä teollisessa ympäristössä (de Souza Cardoso, Mariano & Zorzal, 2020). 22 % on Aasiasta ja hieman yllättäen vain 10 % Pohjois- ja Keski-Amerikasta. Kuitenkin tutkituista patenteista 75 % oli Aasiasta ja 17 % Pohjois-Amerikasta, ja Euroopan osuus jäi alle 10 %:iin. Tutkimuksien osalta kärjessä yksittäisistä

maista olivat Saksa, Italia, Singapore ja Ruotsi. Patenttien kohdalla kärkeä piti Kiina ja seuraavana Yhdysvallat. (de Souza Cardoso ym., 2020). Toisessa kirjallisuustutkimuksessa Bottani ja Vignali (2019) tutkivat 174 tutkimusta, joiden alkuperämaat olivat pitkälti samoja: eniten tutkimuksia tuli Singaporesta, Saksasta, Italiasta, Yhdysvalloista ja Kiinasta. Kirjoittajien mukaan fokusoituminen näihin tiettyihin maihin on seurausta sekä AR-laitteita valmistavien laitteiden sijainnista näissä maissa, että useiden tunnettujen tutkimusryhmien läsnäolosta näissä maissa. (Bottani & Vignali, 2019). Myös Rejebin ym. (2021) AR:n roolia teollisuuden toimitusketjuissa ja logistiikassa tarkastelevassa kirjallisuustutkimuksessa Saksa, Italia ja Singapore olivat yleisimpiä alkuperämaita. Tutkimuksen ja patenttien fokusoituminen tiettyihin maihin tai alueisiin voi mahdollisesti aiheuttaa eroavaisuuksia myös AR:n käyttöönoton asteessa. Suomesta Bottanin ja Vignalin (2019) tutkimuksessa oli yhteensä 4 eli 2,3 % tutkimuksista ja Rejebin ym. (2021) tutkimuksessa 2 eli 4,7 % tutkimuksista.



## 4 LISÄTYN TODELLISUUDEN TEOLLINEN IMPLEMENTOINTI

1990-luvun tutkimuksissa havaittu uuden teknologian implementointien 47 prosentin epäonnistumisaste osoittaa, että teknologian käyttöönottoon liittyy suuria haasteita (Aiman-Smith & Green, 2002). Bellalouna (2020) viittaa tutkimusyhtiöiden Tata Consulting Services ja Bitkom Research tuottamaan markkinaraporttiin, jonka mukaan uusien teknologioiden implementaation eli käyttöönoton vaikeuksia selittävät tekijät ovat tiivistettävissä uusia digitaalisia teknologioita osaavien työntekijöiden puutteeseen, suoraan omissa prosesseissa saavutettavissa olevien hyötyjen tunnistamattomuuteen, työntekijöiden hyväksynnän puutteeseen ja ajanpuutteeseen, mitä käyttöönotto ja suunnittelu vaatisi. Valitettavasti alkuperäinen lähde ei ole enää saatavilla.

Samanlaisia johtopäätelmiä luovat Masood ja Egger (2020). He tunnistavat informaation tehokkaan hyödyntämisen AR:n keskeisimpänä hyötynä, joka pitkälti mahdollistaa muiden onnistumiskriteerien ja suorituskykymittarien tulokset. Hyötyjen realisoitumiseksi nousee esiin kolme tekijää, jotka tulee saavuttaa. Ensimmäisenä on AR-järjestelmän konfigurointi kattavien pilottitestien ja sisäisen osaamisen avulla, toisena käyttäjähyväksynnän saavuttaminen relevanttien käyttökohteiden ja käyttäjäystävällisen käyttöliittymäsuunnittelun avulla ja kolmantena organisaationaalisen yhteensopivuuden saavuttaminen valmistamalla organisaation johto, käyttäjät ja toimintaympäristö AR:n käyttöönottoprosessiin. (Masood & Egger, 2020).

Luvut 2 ja 3 ovat käsitelleet AR:ää teknologiana sekä sen käyttötapoja, sen mahdollistamia hyötyjä ja sitä koskevia haasteita. Tämän luvun tarkoitus on selvittää, miten AR:n käyttöönotto tapahtuu investointipäätöksenteon (luku 4.1), AR-järjestelmän sekä sisältöjen kehittämisen teknisen konfiguroimisen (4.2), organisaation valmiuksien ja muutoskyvykkyyksien (4.3) sekä käyttäjähyväksynnän (4.4) näkökulmista.

## 4.1 Investointipäätöksenteko

Kuten todettua, AR on osa laajaa teollisuuden digitaalista transformaatiota. Fitzgerald ym. (2014) esittelevät listan esteitä selvitettäväksi digitaalisen transformaation toteuttamiseksi. Ensimmäiset neljä estettä ovat tarpeen tai kiireellisyyden tunnistaminen, vision määrittäminen, suunnan valitseminen ja johdon omien asenteiden tunnistaminen. Tutkimuksen haastattelemissa 1559 eri johtajarooleista ja eri liiketoiminta-aloilta 63 % koki, että edustamansa yrityksen muutosnopeus on liian hidas. Lisäksi vain 36 % koki, että yrityksen toimitusjohtajalla oli selvä visio digitaalisen transformaation suhteen, mutta, kun toimitusjohtaja oli tällaisen esittänyt, peräti 93 % johtajista oli samaa mieltä yrityksen suunnasta. Kun visio on olemassa, tulee määrittää, miten tavoitteeseen pyritään esimerkiksi sisäisen tehokkuuden tai uusien liiketoimintamallien kautta. (Fitzgerald ym., 2014).

Porterin ja Heppelmannin (2017a) mukaan AR:n käyttöönoton suunnittelu alkaa tarkastelemalla AR:n eri mahdollisuuksia ja arvioimalla niiden tärkeysjärjestystä suhteessa toisiinsa sekä suhteessa asiakkaisiin, tuotetarjoomiin ja arvoketjuun. Investointien ajureita voivat olla niin liiketoimintavaatimukset eli kysyntä kuin myös mahdollisuudet eli tarjonta kuten uudet teknologiat (Peppard & Ward, 2004). Myös kilpailijoiden toiminta voi olla yksi keino arvioida soveltuvuutta yritykselle itselleen. Kuten aiemmissa kappaleissa on käynyt ilmi, AR tarjoaa useita sisäisiä lattiatasen prosesseja, joissa sitä voi hyödyntää, tarjoten laajan kirjon erilaisia hyötyjä, joita sillä on mahdollista saavuttaa. Porterin ja Heppelmannin mukaan esimerkiksi perushyödykkeitä tuottavien yritysten tulisi keskittyä operatiiviseen tehokkuuteen AR-hankkeissaan. (Porter & Heppelmann, 2017a). AR:ään liittyvien strategisten päätösten tueksi kaivataan kuitenkin yhä validointia nykymuotoisen AR:n hyödyistä (Fast-Berglund, Gong & Li, 2018).

AR-ohjelmistojen kehitysprojektit vaativat paljon osaamista, joka johtaa korkeisiin implementointikustannuksiin (de Souza Cardoso, Mariano & Zorzal, 2020). Van Lopikin ym. (2020) mukaan harkittaessa AR:n implementointia teollisiin prosesseihin keskeistä on arvioida tarkkaan, onko AR oikea teknologia juuri tiettyyn tehtävään. Myös Jetter, Eimecke ja Rese (2018) korostavat järkevien käyttökohteiden tärkeyttä. Porcellin ym. (2013) tämä arviointi perustuu perusteelliseen hyötyjen ja kustannusten arvioon, jonka myötä tulisi olla käsitys, millä tapaa prosessi muuttuu ja mitä resursseja tarvitaan tai säästetään AR:n käyttöönoton myötä. Myös Bottani ja Vignali (2019) kehottavat käsittelemään AR-ohjelmistojen kehitystä kuin tulevaisuuteen tähtäävää investointia, jonka päätöstä varten luodaan laskelmat siitä, kuinka kauan kestää, että AR:n hyödyt kattavat kehittämisen kustannukset. Näiden laskelmien haasteena on luonnollisesti arvioida ohjelmisto- ja laitteistokehittäjien ottamia edistysaskeleita, joita maturoituva teknologia tulee realisoimaan vasta ajan myötä.

Nykyisellään kalliit AR-lasit vaativat aikaa tai esimerkiksi resurssisäästöjä saavuttaakseen maksaakseen hintansa takaisin (Quandt ym., 2018). Danielsson, Holm & Syberfeldt (2020) toteavat, että validoituja, kustannukset huomioon ottavia malleja AR:ää koskeville päätöksentekoprosesseille ei vielä ole. Eri tehtävissä hyödyt ja kustannukset voivat erota. Porterin ja Heppelmannin (2017a) mukaan valmistavassa teollisuudessa nopeimmin saavutettavissa olevat hyödyt ovat työtehtävien suorittamista ohjeistavissa sovelluksissa. Myöhemmin suuria hyötyjä on saavutettavissa, kun AR-järjestelmät kykenevät mahdollistamaan interaktiivisuutta esimerkiksi koneiden kontrolloinnissa. (Porter & Heppelmann, 2017a). Yksi yleinen AR:n käyttöönoton hidaste on kuitenkin se, että yritykset eivät ainakaan vielä kykene tunnistamaan välittömästi AR:n avulla saavutettavissa olevia hyötyjä omissa prosesseissaan (Bellalouna, 2020).

Fitzgeraldin ym. (2014) haastattelemasta 1559 eri toimialojen yritysjohtajasta vain puolet vastasivat, että heidän yrityksensä luo niin sanotun "business casen" eli eräänlaisen liiketoimintasuunnitelman IT-aloitteilleen. Kehittyville teknologioilla voi olla vaikeaa luoda mittareita hyötyjen tuotoista investoinnille. Vain neljännes haastatelluista yrityksistä raportoi määrittäneensä niin kutsuttuja suorituskykymittareita ("Key Performance Indicator"), joita käytetään teknologian vaikutusten mittaamiseen. Tutkijoiden mukaan kolme keskeisintä syytä ovat, että yritykset (1) eivät osaa määrittää, mitä pitäisi mitata, (2) osaamattomuus hallita mittareiden luomista ja tarkkailua sekä (3) kulttuurimuutosten tarve mittareiden toteutumiseksi. (Fitzgerald ym., 2014).

Jetterin, Eimecken ja Resen (2018) mukaan AR:n keskeisimmät tavoiteltavat suorituskykymittarit ovat vahvasti transaktiohyötylähtöisiä. Heidän tekemissä asiantuntijahaastatteluissa ajan ja virheiden määrän pienentäminen olivat useimmin esiin nousseet suorituskykymittarit. Kokeneempien työntekijöiden mielestä myös kognitiivisen taakan keventäminen koettiin suureksi hyödyksi. Muita haastatteluissa ilmenneitä mahdollisia mittareita olivat helppokäyttöisyys, kontekstuaalisen informaation esittäminen oikeassa tilassa, skaalautuvuus ja laajennettavuus sekä organisaation tiedonhallinta. (Jetter ym., 2018). Fast-Berglund, Gong ja Li (2018) päätyivät AR-etätukea testatessaan pitkälti vastaaviin suorituskykymittareihin: AR-ohjeistuksen laatu, tehtävään käytetty aika, prosessin joustavuus ja kustannukset. Hyvän suoriutumismittarin tulisi olla vertailtavissa aiemmin käytettyyn menetelmään, esimerkiksi paperiohjeisiin.

Organisaation strategia ja sen investointipäätökset määrittävät loppupeleissä onko uusi IT-järjestelmä tai teknologia kilpailuedun mahdollistaja, kilpailijoiden etumatkan tasoittaja vai asettaako se yrityksen huonompaan kilpailuasemaan (Peppard & Ward, 2004). Investointimahdollisuuksia on lukuisia, ja AR on vain yksi Industry 4.0-murroksen teknologioista, joihin yrityksillä on kiinnostusta lisätä kyvykkyyksiään. Gregor ym. (2006) huomauttavat, että IT-teknologian käyttö ei riipu pelkästään yrityksestä itsestään vaan myös ulkoisista tekijöistä, esimerkiksi lainsäädännöstä, maailmantaloudesta, sosiaalisista ja kulttuurisista

tekijöistä, teknologian kehityksestä ja infrastruktuurin saatavuudesta. Yhtä lailla tietyt toimialat ovat paremmassa positiossa tiettyjen teknologioiden käyttöönottoon. (Gregor ym., 2006). Ulkoisilla tekijöillä voi olla merkittäväkin vaikutus organisaation tehokkuuteen ja sitä kautta kilpailukykyyn (Melville, Kraemer & Gurbaxani, 2004). Esimerkiksi yhdellä tehtaalla voi olla sijaintinsa ansiosta pääsy 5G-verkkoon ja toisella ei.

## 4.2 Konfigurointivaihe

Investointipäätöksenteon aikana yrityksen tulee luonnollisesti myös kartoittaa mitä todellisuudessa ollaan kehittämässä. Konfigurointivaihe viittaa AR-kehityksen tekniseen toteutukseen, jolla pyritään varmistamaan, että kehitetyt järjestelmät ja sisällöt vastaavat liiketoiminnan ja prosessien tarpeisiin. AR-järjestelmien kehittäminen vaatii päätöksiä niin laitevalintojen suhteen, sisäisen tai ulkoisen ohjelmistokehityksen suhteen sekä sisäisen tai ulkoisen sisällöntuotannon suhteen. Konfigurointivaihe käsittää myös pilottitestaamisprosessin. Näitä päätöksiä analysoidaan luvuissa 4.2.1–4.2.4, ennen siirtymistä AR-järjestelmän prosesseihin yhdistämiseen ja organisaationaalisten käyttöönoton haasteisiin.

### 4.2.1 Laitevalinta

Ennen AR-ohjelmistojen kehittämistä on harkittava, mille laitteelle ohjelmisto kehitetään. Bottanin ja Vignalin (2019) mukaan laitevalinta riippuu pitkälti suoritettavasta tehtävästä. Tietyt käyttötilanteet mahdollistavat mobiililaitteiden käytön, mutta osassa tehtävistä käsien vapaa liikkuvuus ohjeiden tarkastelun aikana on erityisen keskeistä. PTC:n (2019) selvityksessä sen asiakkaista 24 % käytti AR-laseja noin mobiililaitteiden ja taulutietokoneiden 62 %:iin ja 55 %:iin nähden. AR-lasien käyttöönoton vauhdin uskotaan kuitenkin kiihtyvän nopeammin, joten laite- tai alustariippumattomien AR-ohjelmistojen kehittäminen olisi hyödyllistä, jotta suuremman potentiaalin omaavien AR-lasien yleistyessä aiempien mobiili-AR:lle tehtyjen sovellusten hyödyt olisivat siirrettävissä suoraan AR-laseihin.

Sopivien AR-lasien valinnassa teollisuuden olosuhteet ja teolliset prosessit asettavat omat haasteensa. Syberfeldt, Danielsson & Gustavsson (2017) ehdottavat kolmivaiheista prosessia yrityksen omiin tarpeisiin sopivien AR-lasien valitsemiseen. Ensimmäinen vaihe on rajata pois laitteet, jotka eivät sovi budjettiin. Toinen vaihe on rajata pois selvästi omiin tarpeisiin epäsovikat laitteet, esimerkiksi johdolliset laitteet voivat olla kevyempiä ja tehokkaita, mutta johdot voivat rajoittaa käyttäjän liikkuvuutta liikaa tehtävän suorittamiseksi. Muita tärkeitä kriteerejä ovat paino, virtuaalisen näkökentän laajuus, akun kesto ja riittävä visuaalinen laatu. Kolmas vaihe on tehdä jäljelle jäävistä laitemalleista kattava lista ja valita sopivin. Edellä mainittujen ominaisuuksien lisäksi kamera, sensorit, audio-ominaisuudet, ohjauskontrollit,

prosessorit, muisti, langattomat yhteydet, käyttöjärjestelmät ja avoimet sovellusrajapinnat sovellusten kehittämiseksi ovat tärkeitä kohtia laitevalinnassa. Laitevalintaa auttaisi AR-laseille kehitettävän objektiivisen benchmark-testin olemassaolo, mutta yleisesti tiivistäen voidaan sanoa, että kattavien ominaisuuksien kolikon kääntöpuolena on usein painavat ja kalliit laitteet. (Syberfeldt ym., 2017). Jetterin, Eimecken ja Resen (2018) mukaan kuluttajamarkkinoilla on keskeinen rooli AR-lasien hyväksynnän ja käytettävyyden kehittämisessä myös työympäristössä. Yleistyminen kuluttajamarkkinoilla laskisi oletettavasti myös laitteiden hintoja, mikä laskisi yrityksiltä vaadittavia investointeja.

#### 4.2.2 AR-ohjelmistojen kehittäminen

Kappaleessa 2.3 esitellyssä Porterin ja Heppelmannin (2017a) luokittelussa visualisoiviin, ohjeistaviin ja interaktiivisiin järjestelmiin käsiteltiin yleismaailmallisia havainnollistuksia. Teollisuuden kontekstissa ne tarkoittavat:

- Visualisoivat AR-ohjelmistot: Helpoin aste. Esimerkiksi etätukiohjelmistoissa ainut AR-elementti on, että etäasiantuntija merkkää käyttäjän näkymään huomioita. Toinen esimerkki ovat reaaliaikaista dataa AR-laitteisiin visualisoivat ohjelmistot, joissa ei ole interaktiivisuutta.
- Ohjeistavat AR-ohjelmistot: Esimerkiksi auto- ja lentokone-teollisuuden kokoonpanolinjastojen käytössä olevat työvaiheiden suorittamista ohjeistavat järjestelmät. Kehittäminen vaatii enemmän resursseja virtuaalisten kontekstisidonnaisten ohjeiden luomiseen, ympäristöä tunnistavan ohjelmiston kehittämiseen ja AR-laitteiston hankintaan.
- Interaktiiviset AR-ohjelmistot: Vaativimpia kehittää. Tarjoavat käyttäjälle reaaliaikaisen kyvyn kontrolloida esimerkiksi tehtaan koneiden toimintaa yhdessä virtuaalisessa käyttöliittymässä. Tällainen rajapinta mahdollistaa käyttöliittymien jatkuvan kehityksen. (Porter & Heppelmann, 2017a).

Organisaation tulee tehdä päätös kehittääkö AR-ohjelmistoja tai -sisältöjä itse vai alkaako yhteistyöhön asiantuntevan yrityksen kanssa. Porterin ja Heppelmannin (2017a) mukaan AR:n yleistymisen alkuvaiheessa tarjonta markkinoilla on vielä melko rajallinen, joka on osaltaan ajanut yrityksiä investoimaan omien AR-kyvykkyyksien kasvattamiseen. Kirjoittajien mukaan osa yrityksistä voi esimerkiksi toimialansa takia kokea AR:n välttämättömäksi strategiseksi resurssiksi ja kilpailukyvyn parantajaksi, johon on panostettava. (Porter & Heppelmann, 2017a). Itse kehittäessä tarvitaan luonnollisesti uusia päteviä työntekijöitä ja erityisohjelmistoja. Bellalounan (2020) mukaan yksi AR:n ohjelmistojen kehittämistä hidastava haaste on osaavien työntekijöiden puute. Zubizarrettan ym. (2019) mukaan etenkin pienissä ja keskisuurissa yrityksissä teknisten taitojen puute rajoittaa mahdollisuuksia AR:n käyttöönottoa. Yksi suuri puute on käyttäjäkokemuksen ja käyttöliittymien

suunnittelijoista (Porter & Heppelmann, 2017a). Samaan aikaan muutkin digitalisoituvan teollisuuden Industry 4.0-teknologiat vaativat osajia. Esimerkiksi edellisessä luvussa tarkasteltu datan kerääminen, yhdistäminen ja hallinta vaativat paljon resursseja.

AR:n kehittäminen vaatii investointeja myös teknisiin resursseihin. Yleisimmin käytettyjä kehitysalustoja AR-sovellusten kehittämiseen ovat Unity-pelimoottori ja Vuforia AR-ohjelmistokehitystyökalu, joihin suurin osa tieteellisten tutkimusten esittelemistä sovelluksista perustuu (de Souza Cardoso, Mariano & Zorzal, 2020). Unityn kaltaiset pelimoottorit vaativat kuitenkin erikoisosaamista. Mourtzis ym. (2017) esittelemä tuotantokoneiden monitorointijärjestelmä tuotettiin Unityn ja Vuforia yhdistelmällä. Tutkijat kuvasivat prosessia siten, että Unityn avulla kehitettiin korkealaatuinen ja helppokäyttöinen graafinen käyttöliittymä, jolla käyttäjää voidaan opastaa sekä yhdistää saumattomasti pilvitietokantoihin. Vuforiaa taas käytettiin Unityn lisäosana kehittämään AR-toiminnollisuudet, joilla visualisoidaan huolto-ohjeet ja diagnostiikkatietojen monitorointi fyysisen objektiin yhteyteen kuvaruudulle. (Mourtzis ym., 2017). Porterin ja Heppelmannin (2017a) mukaan aloilla, joilla muutos on hitaampaa ja joilla AR ei kykene tarjoamaan selvää kilpailuetua, yrityksille voi olla suotuisaa odottaa valmistratkaisujen yleistymistä, jolloin kehitykseen pääsee käsiksi pienemmin investoinnein. Vaihtoehtoja osaamisen hankkimiselle palkkauksien sijaan ovat myös yritysostot ja läheisempi yhteistyö toisten organisaatioiden kanssa.

### 4.2.3 AR-sisällön tuottaminen ja hallinta

Kuten teollisuuskoneiden tuottamassa datassa, myös sisällöntuotantoon tarvittaisiin yleisesti hyväksytyjä käytänteitä (Masood & Egger, 2020). Keskeinen haaste sisällöntuotannossa on dokumentaation määrä, jota AR-järjestelmään täytyisi saada sisällytettyä. Ideaalitapauksessa AR-järjestelmä kykenisi ohjeistamaan kenet tahansa työntekijän minkä tahansa työtehtävän läpi, mutta eri muodoissa ja laaduissa esiintyvät dokumentaatiot eivät lähtökohtaisesti ole suoraan siirrettävissä AR-järjestelmiin ilman tarkistusta ja muokkaamista ja manuaalisesti tehtynä se vie paljon aikaa ja rahaa (Quandt ym., 2018). Myös Danielssonin, Holmin ja Syberfeldtin (2020) mukaan AR:n käytön todellinen yleistymisen työhajeistuksessa vaatii sen, että sisältöä täytyy kyetä luomaan ja muokkaamaan vaivattomasti sekä sisällöntuotantoprosessien automatisointia on kehitettävä.

Automatisoituja prosesseja on kuitenkin jo kehitteillä. Funk, Korn ja Schmidt (2015) esittelevät järjestelmän, jossa optiset sensorit tarkkailevat ennalta määritettyjä alueita ja käyttäjän liikkeitä niissä. Kun käyttäjä poimii esimerkiksi tuotteen osan säilytysalueelta, liike alueella kirjautuu talteen. Myöhemmin työtehtävää suorittaessa oikea alue merkataan käyttäjän näkökenttään, jolloin tämän tehtäväksi jää päätellä seuraava vaihe, esimerkiksi mikä työkalu poimia. (Funk ym., 2015). Van Lopik ym. (2020) esittävät keinon, jossa videoksi tallennettu ammattilaisen suorittama prosessi jaetaan

työvaiheiksi. Tekijän silmänliikkeitä seuraamalla työvaiheen suorittamisen aikana opitaan mihin kiinnittää huomio. Lopuksi vaiheisiin liitetään virtuaaliset grafiikat kuten osoitin merkkamaan, mihin käyttäjän tulisi kohdistaa katseensa missäkin vaiheessa. (van Lopik ym., 2020).

Erkoyuncun ym. (2017) esittelemä järjestelmä tunnistaa huollettavan kohteen CAD-tiedostojen pohjalta järjestelmä 3D-mallia vastaavan fyysisen osan Vuforia seurantatoiminnon avulla, ja korostaa sen käyttäjän näkymään. Järjestelmä myös luo animaation tämän pohjalta, joka näkyy ohjeissa liikkumassa näytöllä oikeaan asentoon. (Erkoyuncu ym., 2017). Mourtzis ym. (2017) taas kuvailevat algoritmin, joka automaattisesti kääntää CAD-mallin vaiheisiin, joita on mahdollista hyödyntää AR-ohjeistuksessa visualisoimaan eri osia ja niiden kiinnittämistä. Yhdistelemällä edellä kuvailtuja menetelmiä, eli hyödyntämällä CAD-malleja, tunnistamalla 3D-malleja reaali maailman fyysisestä kohteesta ja tunnistamalla käyttäjän käsien- ja silmienliikkeitä sekä tämän toimintaa työalueella, voidaan muodostaa jo melko kattavia automatisointeja prosesseista, joskin manuaalista työtäkin niissä tarvitaan yhä.

Kourouthanassisin, Boletsisin ja Lekakosin (2015) mukaan AR-sovelluksissa esitettävän sisällön olisi hyvä hyödyntää kontekstia sisällön tarjoamisessa. Esimerkiksi tehdään lattiatason toimijoita seuraava sisäpaikannusjärjestelmän avulla AR voisi Syberfeldtin ym. (2016) mukaan antaa juuri tietyn työpisteen tiettyyn tehtävään tai sijainnin kannalta relevanttia tietoa, kuten varoituksen lähellä liikkuvasta objektista tai auttaa AR:ää tunnistamaan, mitä sen ympärillä tapahtuu. Erityisesti tehdaslattialle suunniteltuja sisäpaikannusjärjestelmiä ei kuitenkaan ollut markkinoilla ainakaan vuonna 2016. (Syberfeldt ym., 2016). Kourouthanassisin ym. (2015) mukaan on myös tärkeää, että turhaa tietoa ei olisi vaatimassa huomiota, minkä suodattamisen lisäksi on mahdollista poistaa fyysisiä elementtejä reaali maailman näkymästä, mikäli ne eivät ole oleellisia. Kirjoittajat lisäävät, että AR:ssä arvon syntyessä vuorovaikutuksesta virtuaalisen ja fyysisen välillä, eri palveluntarjoajien palveluita on mahdollista visualisoida saman AR-järjestelmän kautta. (Kourouthanassis ym., 2015).

AR-järjestelmän tulisi myös tukea käytön oppimista ja luonnollistumista. Esimerkiksi kosketusnäyttöjen operoinnissa käytettävät sormiliikkeet ovat hyvin vakiintuneet eri sovelluksiin ja käyttöjärjestelmiin sekä käyttäjien mieleen. Vakiintuneiden symboleiden ja vuorovaikutustekniikoiden avulla käyttöliittymän käytöstä voi tulla ajan myötä itsestään selvää ja lähes automaattista (Kourouthanassis, Boletsis & Lekakos, 2015).

Ajan myötä yritysten uskotaan kehittävän AR-tiimejä, joiden tehtävä tulee olemaan AR-sisältöjen kehittäminen ja ylläpito (Porter & Heppelmann, 2017a). Van Lopikin ym. (2020) mukaan AR-sisältöjen hallinnasta ja muokkaamisesta pitää tulla osa organisaatiotason prosesseja. Funk, Korn ja Schmidt (2015) uskovat, että loppukäyttäjien kuten kokoonpano-operaattorien mahdollisuus luoda, jakaa ja muokata AR-sisältöjä, esimerkiksi kokoonpano-ohjeita, tarjoaa merkittävän potentiaalinen AR:n tulevaisuudelle samaan tapaan kuin Web 2.0 muutti Internetin toimintaa.

#### 4.2.4 Pilotointi

Van Lopikin ym. (2020) mukaan ammattilaisen tulisi tarkistaa luotujen AR-ohjeiden ja järjestelmän toimivuus työprosessissa. Tällöin järjestelmää voidaan kehittää työtehtävän asiantuntijoiden antaman palautteen pohjalta vastaamaan prosessin ja työntekijöiden tarpeita (van Lopik ym., 2020). Pilottitesteissä olisi hyvä testata muun muassa erilaisia valaistusolosuhteita, taustalla kuuluvia ääniä ja liikkumista implementaation kohdeympäristössä (de Souza Cardoso, Mariano & Zorzal, 2020). Näin selvitetään esimerkiksi näyttöjen, ääniongelmien ja laitteiden käyttöön liittyviä haasteita, ja pyritään löytämään ympäristöön sopiva ratkaisu. Regenbrechtin, Baratoffin ja Wilken (2005) mukaan pilottihankkeet olisivat suositeltavaa tehdä yhden käyttäjän, yhden kohteen ja yhden tehtävän puitteissa. Alussa pyrkimyksenä tulisi olla ratkaisu, joka on helppokäyttöinen ja henkilöstön kannattama. (Regenbrecht ym., 2005). Järjestelmän kehittämiseksi positiivisen ja negatiivisen palautteen antamista tulisi kannustaa kaikilta osapuolilta, niin loppukäyttäjiltä, johdolta kuin kehittäjätiimiltä (van Lopik ym., 2020). Erityisesti käyttöön liittyvissä asioissa kuten käytettävyyden ja ergonomian arvioinnissa työntekijät ovat arvokas tiedonlähde (Masood & Egger, 2019). Työntekijöiden henkilökohtaisilla taustoilla ja kokemuksella on myös vaikutusta mielipiteisiin AR-järjestelmien tehokkuudesta (Masood & Egger, 2020).

### 4.3 Organisaationaalinen yhteensopivuus

Masoodin ja Eggerin (2019) mukaan teollisuusalan ja akateemisen tutkimuksen kiinnostuksen kohteissa on yksi merkittävä eroavaisuus: akateemisissa tutkimuksissa pääpaino on annettu teknologisille toteutuksille, kun taas teollisuusyritysten suurimpia huolenaiheita ovat organisaation tason haasteet. Kirjoittajien mukaan teknologinen toteutus on eräänlainen perusta implementaation onnistumisessa, mutta organisaation tason haasteet ovat huoli, joita akateemisessa tutkimuksessa ei ole vielä käsitelty riittävästi. Masoodin ja Eggerin mukaan organisaationaaliseen yhteensopivuuteen kuuluvia onnistumiskriteerejä ovat työntekijöiden ja johdon kouluttaminen ja uuteen teknologiaan ja sen käyttöönottoon liittyen sekä koulutus- ja työskentelyympäristön optimointi tukemaan AR-järjestelmiä. (Masood & Egger, 2019).

Gregor ym. (2006) kertovat, että IT-investointien ja tuottavuushyötyjen välillä on usein pitkä viive, jossa johtamiskäytänteillä on suuri rooli. Heidän mukaansa IT-hankkeiden tulokset eivät näy pelkästään tehokkuudessa ja strategiassa, vaan myös organisaation itsensä transformaatioissa uusien toimintatapojen ja opittujen kyvykkyyksien myötä. Transformaatio voi siis itsessään olla resurssi. Transformaatiohyödyt korreloivat vahvasti muiden hyötykategorioiden kanssa osoittaen, että transformaatiohyötyjen saavuttaminen johtaa todennäköisesti myös muiden hyötykategorioiden hyötyjen saavuttamiseen. (Gregor ym., 2006). Masood ja Egger (2019)



tiivistävät, että organisaatio voi todella valjastaa AR:n hyödyt vain kehittämällä tai uudelleen suunnittelemalla prosesseja, jotka tukevat AR:n käyttöä keskeisenä osana, esimerkiksi tietovirtoja muuttamalla.

Johtajien ja muiden projektin keskeisten henkilöiden rooli on sekä teknologian sovellusalueiden määrittämisessä, että myöhemmässä vaiheessa vakuuttamassa muita työntekijöitä omaksumaan uusi teknologia ja sen muokkaamat prosessit. Fitzgeraldin ym. (2014) haastatteluiden perusteella yritykset, jotka onnistuvat digitaalisessa transformaatioissa, usein myös tarjoavat johtajilleen erinäisiä kannustimia ja palkkioita onnistuneista IT-hankkeista. Tällaisia voisi olla esimerkiksi bonukset ja palkankorotukset, mutta Fitzgeraldin ym. löydösten perusteella IT-transformaatioissa onnistuneissa yrityksissä yleisimpiä kannustimia ovat ylennykset ja muut tunnustukset rahallisten kannustimien sijaan. (Fitzgerald ym., 2014).

Myös muiden sidosryhmien osallistaminen on tutkijoiden mukaan vaivan arvoista (Regenbrecht, Baratoff & Wilke, 2005). Aiman-Smithin ja Greenin (2002) mukaan hyvät toimittajasuhteet, henkilöstöhallinnon toimenpiteet kuten koulutus ja niin kutsutun projektin omistajan kannatus hankkeelle ovat keskeisiä kasvattamaan hankkeen onnistumisen todennäköisyyksiä. Monimutkaisiin järjestelmiin liittyvä koulutus on kuitenkin merkittävä haaste organisaatioille, sillä se koetaan yleisesti heikompilaatuisena. (Aiman-Smith & Green, 2002). Ratkaisuna haasteisiin voisi olla projektin pilkkominen pienempiin osiin ja tuomalla lisää uusia toiminnollisuuksia asteittain (Souder ym., 1990). Käyttäjähäyväksynnän jälkeen on helpompi kehittää uusia ja parempia toiminnallisuuksia (Regenbrecht ym., 2005).

AR teknologiana itsessään voi auttaa varmistamaan omaa organisaationaalista yhteensopivuuttaan, sillä kuten todettua, hyvin ja huolella laaditut AR-ohjeistukset auttavat yritysten prosessien dokumentointia. Kun työtehtäviä ohjeistava AR-ohjelmisto otetaan käyttöön, se myös valvoo, että suunnitellut ja toteutuneet prosessit mukailevat toisiaan keräämällä ja jakamalla tietoa prosessien kulusta, jolloin prosessit todennäköisemmin myös täyttävät liiketoiminnalle asetettuja tavoitteita (van Lopik ym., 2020). Esimerkiksi puutteellisen dokumentaation takia tiettyjä prosesseja saatetaan tehdä eri tavalla kuin aiemmin on tarkoitettu.

Onnistunut integraatio vaatii teknologiset valmiudet AR:n käyttöönotolle. IT-infrastrukturi ovat kuitenkin yleinen ongelmakohta uusien järjestelmien ja teknologioiden implementoinnille. Peppard ja Ward (2004) tiivistävät, että laitteistot, verkot, tietokannat ja käyttöjärjestelmät ovat usein koko organisaation kattavia ja tarkoitettu kaikkien liiketoimintatavoitteiden käytettäväksi. Tämä kokonaisuus ei ole aina riittävän tarkkaan suunniteltu ja voi olla rajoittava tekijä tiettyjen liiketoimintatavoitteiden toteuttamisessa. (Peppard & Ward, 2004). AR:n vaatimuksia taustateknologialle käytiin tarkemmin läpi luvussa 3.5.

Organisaationaaliseen yhteensopivuuteen kuuluu myös sen varmistaminen, että uuden teknologian ylläpitoprosessit ovat hallinnassa. AR-laitteiden tulisi olla nopeasti otettavissa käyttöön ja olla mahdollisimman

luotettavia häiriöihin ja vikoihin, kuten uudelleenkalibrointeihin, kuluvan ajan minimoimiseksi (Quandt ym., 2018). Danielssonin, Holmin ja Syberfeldtin (2020) lisäävät, että nykyisellään erilaisia laitteita on varsin paljon ja niillä voi olla hyvinkin erilaisia ominaisuuksia, joilla on omia vaikutuksia esimerkiksi käyttöaikaan, sopiviin käyttökohteisiin sekä vaadittaviin ylläpitotoimenpiteisiin. Tarvitaan esimerkiksi varalaitteita, jotka ovat nopeasti otettavissa käyttöön tai helposti vaihdettavissa olevia akkuja (Danielsson ym., 2020). Ylläpitotehtäviin lasketaan myös laitteiden puhdistaminen (Quandt ym., 2018). Esimerkiksi yhteiskäytössä AR-lasien hiostavuuden aiheuttama epähygieenisuus nousi käyttömukavuuteen liittyvissä haasteissa huolenaiheeksi. Lopuksi vanhentuneiden laitteiden korvaamiselle pitää myös olla omat suunnitelmansa (Danielsson ym., 2020).

#### 4.4 Käyttäjähvaksyntä

Kuten kaikissa tietojärjestelmien käyttöönotoissa, myös AR-järjestelmien kohdalla työntekijöiden rooli on tärkeä ja käyttäjähvaksyntä on keskeinen kriteeri IT-hankkeiden onnistumisen kannalta. Työntekijät on valmistettava uuden teknologian käyttöönottoon sekä teknologian käytön että muutettujen prosessien osalta (Masood & Egger, 2019). Prosessien suunnittelussa tarvitaan myös työntekijöiden panosta ja luottamusta AR:ää kohtaan (Büttner ym., 2017). Implementaation onnistumiseksi käyttäjien tulee oppia ja kehittää uusia kyvykkyyksiä, hyödyntää niitä prosesseissa sekä olla riittävän tyytyväisiä uuteen teknologiaan ja uusiin toimitapoihin, että niiden käyttö voi jatkua ja mahdollistaa hyötyjen syntyminen (Aiman-Smith & Green, 2002).

Teknologian hyväksymismalli (Davis, 1989) on malli, jonka mukaan käyttäjän aikomukseen teknologian käyttöönottoon vaikuttaa kaksi tekijää: käyttäjän kokemus hyödyllisyydestä ja käyttäjän kokemus helppokäyttöisyydestä. Koetulla hyödyllisyydellä tarkoitetaan, että käyttäjän uskoo, että teknologia auttaa häntä suoriutumaan työtehtävästä paremmin. (Davis, 1989). Tätä sanomaa tukien myös Masoodin ja Eggerin (2020) case-tutkimuksissa nousi esiin kahden yrityksen kommentit, että käyttäjähvaksyntä on saavutettavissa, kunhan käyttäjän kokemat hyödyt ovat riittäviä ja näytöt puhuvat AR:n puolesta. Kolmas haastateltu yritys näkee, että AR:n hyväksyntä riippuu koulutuksesta siihen varhaisessa vaiheessa. (Masood & Egger, 2020).

Davisin (1989) mukaan pelkkä koettu hyödyllisyys ei riitä, mikäli käyttäjä kuitenkin kokee, että teknologian käytön vaikeus ei tee siitä hyötyjen arvoista. Uutena teknologiana AR-järjestelmistä tulee suunnitella helppokäyttöisiä ja intuitiivisia. Tutkimuksissa AR-järjestelmiä ei kuitenkaan yleisesti ottaen pidetä vaikeina käyttää. Esimerkiksi Syberfeldtin ym. (2016) toteuttamassa tutkimuksessa käyttäjät kokivat eri näyttöratkaisuihin perustuvat järjestelmät helppokäyttöisiksi ja ymmärrettäviksi teknologian uutuudesta huolimatta. Esitellyn järjestelmän käyttäjistä suurin osa koki myös tehokkuuden parantuneen AR:n avulla, joskin monen mielestä hyöty ei ollut riittävän suuri.

Jetter, Eimecke ja Rese (2018) raportoivat, että käyttäjien kokemasta positiivisesta hyödyllisyydestä ja asenteesta teknologian käyttöönottoon huolimatta esiteltäviä huolto-ohjeistusjärjestelmää ei pidetty mielekkäämpänä vaihtoehtona perinteisiin toimintamenetelmiin verrattuna. Erityisesti kokeneet työntekijät olivat kriittisempiä uutta teknologiaa kohtaan. (Jetter ym., 2018). AR-järjestelmien muokattavuus kokeneempien käyttäjien pienempiin tarpeisiin olisi suositeltava ominaisuus. Syberfeldt ym. (2016) uskovat, että suoritettavan tehtävän korkeampi haastavuus lisää käyttäjän halukkuutta hyödyntää AR:ää. He myös huomauttavat, että tulevaisuuden älyllistyvät Industry 4.0-tehtaat tulevat vaatimaan uusia ja kehittyneempiä taitoja tehtaan työskentelijöiltä, joten voisi ajatella, että käyttäjien kokemaa hyödyllisyyttä nousisi opettelua vaativien uusien koneiden, järjestelmien ja prosessien käyttöönoton myötä.

Porcellin ym. (2013) mukaan työntekijöiden luonteenpiirteitä tulisi pohtia yhtenä tekijänä käyttöönotossa. Avoimuus innovaatioihin on eräs teknologian käytössä usein tutkittu tekijä, jonka katsotaan johtavan käyttäjähäväksyntään. (Porcelli ym., 2013). Rauschnabel, Brem ja Ivens (2015) tutkivat Google Glass-älylasien omaksumista erilaisia luonteenpiirteitä omaavien ihmisten keskuudessa ja havaitsivat, että Google Glass AR-laseista tietoiset henkilöt olivat avoimempia uusille innovaatioille sekä vähemmän neuroottisia luonteeltaan. Sekä toiminnolliset hyödyt että arvioitu sosiaalinen yhdenmukaisuus vaikuttivat positiivisesti aikomukseen ottaa Google Glass-lasit käyttöön. Tämä tarkoittaa, että AR-lasien yleistymiseksi niiden tulisi tarjota paitsi hyötyä myös olla sosiaalisesti hyväksytyjä, joka on kriteeri etenkin ulospäinsuuntautuneille henkilöille. Tutkimuksen mukaan ikä ei ole merkittävä vaikuttava tekijä, mutta sukupuolista miehet olivat todennäköisempiä ottamaan laitteen käyttöön (Rauschnabel ym., 2015). Quandt ym. (2018) esittävät mielenkiintoisen havainnon, että kokeneet työntekijät ovat avoimempia hyväksymään uuden teknologian silloin, kun ne esitellään harjoitteluvälineinä.

AR-lasien suhteen skeptisyyttä aiheuttaa moni jo luvun 3.3 haasteissa mainittu asia teknologiaan itseensä, sen käyttöön tai sosiaalisiin aspekteihin liittyen. Büttnerin ym. (2017) mukaan erityisesti AR-lasien haasteellisuus ja käyttäjien epäluottamus ohjeistavia järjestelmiä kohtaan asettaa haasteen käyttäjähäväksynnän saavuttamisessa. Esimerkiksi laitteiden suorittaman datan keräämisen tapauksessa Van Lopikin ym. (2020) mukaan yksi suositeltava toimenpide käyttäjien luvan saamiseksi on pitää käyttäjät kartalla hankkeen etenemisestä ja selitettävä avoimesti syyt ja tavoitteet datan keräämiselle. Käyttäjien mielipiteiden kuunteleminen on tärkeää sekä ehdotusten että huoltenaiheiden kohdalla. Tutkijat lisäävät, että EU-alueen GDPR-tietosuojasetukset voivat parantaa työntekijöiden luottoa AR-teknologiaan. AR-lasien vieraudesta huolimatta yhden case-tutkimuksessa haastatellun yrityksen työntekijät kokivat, että yritys osoitti investoivansa työntekijöihinsä ottamalla käyttöön uutta teknologiaa heidän työnsä tueksi. (Van Lopik ym., 2020).

## 5 TUTKIMUKSEN KULKU

Kirjallisuuskatsaus osoittaa, että AR:n rooli on toimia rajapintana ja käyttöliittymänä tulevaisuuden tehtaiden teknologian ja ihmistyöntekijöiden välillä. AR on yhdistettävissä moniin prosesseihin, joista tässä tutkimuksessa on fokusoiduttu lattiataason prosesseihin. Vaikka yksittäiset yritykset ovat raportoineet positiivisista kokemuksista AR:n käyttöönottoonsaan, haasteiden seurauksena AR:n käyttöönotto on pitkälti vielä kontrolloiduissa olosuhteissa toteutettujen kokeilujen ja pilottien varassa. Tämän tutkimuksen empiirisen osion tavoite on yhtäältä tarkastella AR:n teollisen käyttöönoton tilannetta Suomessa ja toisaalta ymmärtää, miksi AR:n hyödyt eivät ole tähän mennessä realisoituneet laajassa mittakaavassa.

### 5.1 Tutkimusmenetelmä

Tutkimus toteutetaan laadullisena eli kvalitatiivisena tutkimuksena. Kvantitatiivisiin eli tilastoihin pohjautuviin tutkimusmenetelmiin verrattuna kvalitatiivinen tutkimusmenetelmä perustuu avointen kysymysten kautta kerättävään sanalliseen tietoon. Sanalla "kvalitatiivinen" siis kuvaillaan dataa, jota kerätään kyselylomakkeiden sijaan henkilökohtaisilla haastatteluilla, ja jonka pohjalta pyritään luomaan ymmärrystä tarkasteltavasta ilmiöstä (Shuttleworth & Wilson, n.d.). Teolliset yritykset ovat yhä varautuneita AR:n käyttöönotosta ja näiden alla piilevien syiden perkaamiseen kvalitatiivinen menetelmä on sopiva. Haastatteluiden avulla kerättävän kvalitatiivisen sisällön analysointi tapahtuu niin sanotun koodaamisen avulla, jolla tarkoitetaan sitä, että haastatteluaineistosta ilmenneitä lauseita tai teemoja merkataan systemaattisen prosessin keinoin (Assarroudi ym., 2018). Analysointiin on olemassa useita tapoja, mutta Hsieh ja Shannon (2005) tiivistävät akateemisen kirjallisuuden havainnot, että kaikissa tavoissa sisältö ja kontekstin ymmärtäminen ovat keskiössä. Analysointiin on olemassa kolme tapaa:

- Tavanomainen: Koodaus perustuu haastatteluissa ilmenneisiin teemoihin.
- Ohjattu: Koodaus perustuu kirjallisuuskatsauksen havaintoihin.
- Summatiivinen: Lasketaan esimerkiksi tiettyjen avainsanojen toistuvuutta aineistossa.  
(Hsieh & Shannon, 2005).

Näistä kolmesta menetelmästä ohjattu menetelmä sopii tämän tutkielman tarpeisiin parhaiten, sillä ohjatussa lähestymistavassa voidaan hyödyntää olemassa olevaa tietoa. AR:ää on tutkittu ja sen potentiaalista on olemassa ymmärrys, mutta käytännön kokemuksen vähäisyydestä johtuen teoreettiset mallit ovat vielä vailla laajempaa empiiristä validointia. Ohjatulla menetelmällä pyritäänkin validoimaan ja laajentamaan olemassa olevaa tietoa aiheesta (Hsieh & Shannon, 2005). On oleellista huomauttaa, että kirjallisuuskatsauksessa ei ilmennyt yhtä tiettyä teoriaa vaan joukko erilaisia havaintoja AR:n käyttöönottoon liittyen, joista haastattelukysymykset johdetaan.

Hsieh ja Shannon (2005) sekä Assarroudi ym. (2018) esittelevät menetelmät ohjatun lähestymistavan kvalitatiivisen sisällön analysointiin. Assarroudin ym. 16-askeleinen prosessi on erityisen spesifi, kun taas Hsiehin ja Shannonin menetelmä on vähemmän prosessimaisesti kuvailtu. Näitä yhdistellen on mahdollista luoda yhdeksästä vaiheesta koostuva malli, joka kattaa kummankin mallin keskeiset piirteet:

- Vaihe 1: kerätä kirjallisuudesta riittävä ymmärrys käsiteltävästä aiheesta sekä tutkimuksen tekemisestä. Tämän tutkielman luvut 1–5 vastaavat tähän. Kirjallisuuskatsaus tuotettiin johdannossa kuvaillulla menetelmällä eri akateemisia tietokantoja hyödyntämällä.
- Vaihe 2: Sopivien haastateltavien tunnistaminen ja kontaktointi.
- Vaihe 3: Haastattelujen ja kysymysten suunnittelu.
- Vaihe 4: Haastattelut ja litterointi.
- Vaihe 5: Koodikategorioiden muodostaminen.
- Vaihe 6: Koodaussääntöjen määrittäminen.
- Vaihe 7: Litteroidun aineiston koodaus.
- Vaihe 8: Koodatun aineiston yhdistäminen ja tiivistäminen.
- Vaihe 9: Kirjoittaminen eli tulosten raportointi.

## 5.2 Haastateltavat

Kirjallisuuskatsauksen toteuttamisen jälkeen tutkimusprosessin toinen vaihe on siis päättää ketä haastatella. Tavoite on tunnistaa sopivat henkilöt antamaan tietoa ja haastatella tällaisia henkilöitä riittävä määrä, jotta vastauksissa on hahmotettavissa tietynlaista saturoitumista ja toisteisuutta (Assarroudi ym.,

2018). Tutkimuksen tekemistä hidasti sopivien vastaajien löytämisen vaikeus johtuen ennen kaikkea AR:n uutuudesta teknologiana. Haastatteluja varten syksyn 2021 aikana otettiin yhteyttä 79 teollisuus-, IT- ja konsultointialan yritykseen. Sopivia ehdokkaita etsittiin muun muassa Google-hakujen avulla sekä ottamalla yhteyttä yrityksiin niin sanottujen ”kylmäsoittojen” tai sähköpostitse lähetettyjen kyselyiden avulla. Teollisuusyrityksien kohdalla tällaisten yhteydenottojen perusta oli luettelo pörssiin listatuista teollisuusyrityksistä, sillä AR:n korkeiden alkuinvestointien takia se ei ainakaan vielä ole oletettavasti yleistynyt pienemmissä yrityksissä. IT- ja konsultointitalojen kontaktointiin käytettiin pörssiyhtiöiden listan lisäksi Itewiki-palvelua, jossa yritykset voivat kuvailla omaa osaamistaan esimerkiksi AR:n saralla. Kaikista kutsutuista yrityksistä suurin osa ei vastannut haastattelukutsuun tai vastasi, ettei voi osallistua haastatteluun. Osa yrityksistä olisi suostunut vastaamaan ilman kokemusta AR:stä. Osa haastateltavista tunnistettiin myös niin sanotulla ”lumipallo”-metodilla pyytäen yhtä haastateltavaa suosittelemaan toista asiantuntijaa haastateltavaksi.

Lopulta yrityksiä valikoitui haastateltavaksi 11 asiantuntijaa, joiden edustamista yrityksistä kuusi edustaa Suomessa toimivia metsä-, teräs- ja koneteollisuuden yrityksiä. Koneteollisuuden yrityksistä löytyi niin tehdaskoneiden, satamakoneiden kuin metsätalouuskoneiden valmistajia. Jokainen haastateltava teollisuusyritys on listattu joko Helsingin tai Tukholman pörssiin ja kirjoitushetkellä markkina-arvoltaan yli miljardi euroa (Kauppalehti, n.d.). Loput viisi yritystä ovat Suomessa toimivia IT- ja konsultointitaloja, jotka ovat kehittäneet AR-ohjelmistoja tai suunnitelleet sellaisten kehittämistä. Näiden yritysten koko vaihteli alle kymmenen työntekijän kokoluokasta suuriin pörssiin listattuihin IT- ja konsultointitaloihin. Haastateltavat teollisuusyritykset merkataan tunnuksilla T1-T6, ja IT- ja konsultointiyritykset tunnuksilla K1-K5 haastateltavien anonymisointiseksi siten, että lukijan tunnistettavissa on, onko kyseessä teollisuus- vai kehittäjäpuolen yritys.

Haastateltavat olivat erilaisista rooleista. Teollisuusyhtiöissä rooleja olivat kunnossapitojohtaja, kunnossapidon kehityspäällikkö, tuotantopäällikkö, tutkimuspäällikkö, käyttäjäkokemussuunnittelun johtaja, ja teollisen muotoilun johtaja. IT- ja konsultointiyrityksissä rooleja olivat toimitusjohtaja, tekninen johtaja, XR-ratkaisujen johtaja, liiketoiminnan johtaja ja aluejohtaja. Osa haastateltavista ilmaisi haastattelun aikana huolen, ettei ole kenties oikea henkilö kertomaan yleisesti AR:ään liittyvistä asioista muuta kuin omien projektien kohdalta. Lisäksi osa koki, että ei saanut tai osannut kertoa organisaation AR-hankkeista. Tarvittaessa haastatteluja kohdennettiin niihin aiheisiin, joihin haastateltavat kokivat olevansa kykenevämpiä vastaamaan.

Yrityksillä oli tarjota rajallisesti käytännön kokemusta AR:n hyödyntämisestä omissa prosesseissa, joten kerätty aineisto tarjoaa ennemminkin valmistavan teollisuuden ja AR-kehittäjien asiantuntijoiden näkemyksiä teollisen AR:n nykytilasta. Lopulta analysoitavaa materiaalia kertyi kuitenkin kattavasti kaikkiin eri aihepiireihin, ja haastattelut täydensivät hyvin toisiaan siten, ettei keskeisiä aihealueita jäänyt huomioimatta.

### 5.3 Haastattelut ja niiden valmistelut

Tutkimusprosessin kolmannessa vaiheessa teorian pohjalta luodaan kysymyslista. Kysymykset ovat muotoilultaan avoimia, jotta vastaaja saadaan kuvailemaan syitä ja näkemyksiään lyhyiden ”kyllä”- tai ”ei”-vastausten sijaan. Vastausten perusteella myös voidaan esittää tarkentavia kysymyksiä teoriassa ilmenneisiin asioihin perustuen (Hsieh & Shannon, 2005). Perustuen vastaajien taustaan, osaamiseen AR:ään liittyen ja vastaushalukkuuteen, haastattelukysymykset ja niiden järjestykset vaihtelivat haastattelukohtaisesti.

Neljäs vaihe onkin itse haastattelun tekeminen. Haastattelut toteutettiin Teams- ja Zoom-videokokouspalveluiden välityksellä koronapandemian ja ympäri Suomea sijoittuneiden haastateltavien takia. Haastattelujen tallentamiseen käytettiin joko edellä mainittujen videokokouspalveluiden omia näyttötallennusominaisuuksia tai erillistä ohjelmistoa. Haastatteluiden alussa myös varmistettiin lupa tallennukselle sekä sille, että materiaali jää ainoastaan tämän tutkimuksen käyttöön. Haastateltavat kykenivät antamaan aikaa lähes poikkeuksetta noin tunnin, joka riitti kattavien vastausten saamiseen.

Yleistä toimintatapaa noudattaen (Assarroudi ym., 2018), haastattelut litteroitiin eli kirjoitettiin tekstimuotoon joko välittömästi haastattelun jälkeen tai seuraavana päivänä riippuen haastattelujen päivittäisestä määrästä. Tietotekniset haasteet, kuten hetkittäiset ongelmat mikrofonin kuuluvuuden tai yhteyden katkeilun takia aiheuttivat tiettyjen sanojen tai lauseiden poisjäämistä, mutta hyvin pienessä määrin. Litteroinnin yhteydessä myös alustavaa koodaamista tapahtui keskeisiin teemoihin liittyen. Hsiehin ja Shannonin (2005) mukaan ohjattu tutkimusmenetelmä ei rajaa pois mahdollisuutta täydentää etukäteen määritettyjä koodausluokitteluja haastatteluiden jälkeen.

### 5.4 Koodaus

Tutkimusprosessin viides vaihe on luoda lopulliset kategoriat koodausta varten. Koodikategoriat johdetaan kirjallisuuskatsauksen teoriasta (Assarroudi ym., 2018). Kategorioiksi määräytyivät: (1) yritysten omat AR-projektit, (2) hyödyt, (3) haasteet, (4) prosessit, (5) laitteet, (6) taustateknologia, (7) kyvykkyydet ja (8) implementaatio. Lisäksi kullekin kategorialle määritettiin alakategoriat, esimerkiksi Laitteet-kategorian alakategoriat olivat: (a) AR-lasit, (b) mobiililaitteet, (c) projektiot ja (d) muut ratkaisut.

Kuudennessa vaiheessa näille kategorioille luotiin Assarroudin ym. (2018) ohjeistuksen mukaisesti määritelmät kategorian sisällöille ja säännöt millä perusteella koodattu aineisto kuului mihinkin kategoriaan. Koodaussäännöt ovat tärkeitä erityisesti silloin, kun koodausta suorittaa useampi henkilö. (Assarroudi ym., 2018). Tässä tutkimuksessa koodausta suoritti vain yksi henkilö. Johdonmukaisten toiminnan varmistamiseksi ensimmäisten litterointien koodaukset tarkistettiin viimeisten valmistuttua ja virheelliset

koodaukset korjattiin. Ohjeistuksesta poiketen tässä tutkimuksessa koodattu fraasi, lause tai pidempi lainaus lisättiin tarpeen vaatiessa useampaan, mutta harvoin useampaan kuin kahteen kategoriaan. Esimerkiksi Laitteet-kategoria oli vahvasti yhteydessä sekä Hyödyt- että Haasteet-kategorioihin. Alustavasti mukana ollut Käyttäjäkokemus-kategoria poistettiin johtuen sisältöjen läheisestä suhteesta muihin koodikategorioihin.

Seitsemännessä vaiheessa koko aineisto koodataan. Hsieh ja Shannon (2005) esittävät tämän ajankohdalle kaksi vaihtoehtoa: joko litteroinnit käydään läpi ensin ja koodataan vasta sen jälkeen tai koodaus tapahtuu välittömästi litteroinnin osana ennalta määritettyjen kategorioiden mukaisesti. Tutkijoiden mukaan välitön koodaaminen voi kuitenkin aiheuttaa vääristymiä myöhempiin koodauksiin. (Hsieh & Shannon, 2005). Tässä tutkimuksessa koodaus toteutettiin vasta haastattelujen ja litterointien valmistuttua. Assarroudin ym. (2018) mukaan jo haastatteluprosessin alkuvaiheissa tulisi päättää käytetäänkö pelkkää kirjallista dataa vai myös tulkintaa äänenpainoista ja elekielestä. Tältä osin merkintöjä tuli tehtyä lähinnä yksittäisten kommenttien kohdalla, joten analysoitava aineisto perustuu suurilta osin pelkkään litteroituun tekstiin.

## 5.5 Analyysi ja kirjoittaminen

Kahdeksannessa vaiheessa kaikki koodattu aineisto yhdistetään ja tiivistetään. Koodattu sisältö lajitellaan yhtäläisyyksien ja erojen mukaan (Elo & Kyngäs, 2008). Tämän jälkeen sisältöjen lajittelujen ja aiempien kategorisointien välisiä linkkejä havainnollistetaan ja niiden sisältöjä yhdistetään (Assarroud ym., 2018). Yhdistämiseen käytettiin Excel-ohjelmistoa. Koodatut sisällöt jaettiin koodikategorioiden mukaisesti taulukoihin, jossa jokaiselle koodatulle lainaukselle oli annettavissa tunniste sekä lyhyt kuvaus kontekstista. Tunnisteiden avulla sisällöt olivat järjestettävissä luonteviksi kokonaisuuksiksi.

Viimeinen eli yhdeksäs vaihe tässä Hsiehiä ja Shannonia (2005) sekä Assarroudia ym. (2018) mukailevassa prosessissa on itse kirjoittamisvaihe. Kirjoittamisvaiheeseen kuuluu sekä itse tutkimusprosessin ja -menetelmän kuvailu, että varsinaisten löydösten kuvaileminen (Elo & Kyngäs, 2008). Kirjallisuuskatsauksen sisällön tulisi ohjata tätä havaintojen kuvailua, kun taas aineiston analysoinnin rooli on täydentää teoriaa myötäileviä tai sen kanssa ristiriidassa olevia havaintoja (Hsieh & Shannon, 2005). Analyysia kirjoittaessa löydösten ja aiemman teorian välinen suhde tulisi olla aina osoitettavissa esimerkiksi lainauksin haastatteluaineistosta (Assarroud ym., 2018).

Ohjaavan lähestymistavan ongelmana pidetään riskiä, että aiempi materiaali vaikuttaa tulkintoihin haastatteludatasta tai vaikuttaa kysymysten laatimiseen siten, että kysymys johdattelee vastaajaa esimerkiksi myötäilemään haastattelijaa (Hsieh & Shanonn, 2005). Esimerkiksi haastattelukutsuissa käytettiin sanaa "hyöty" ilman vastinetta "haaste" tai "haitta", mikä voi olla vaikuttanut haastateltavien ennakoasenteisiin. Haastatteluiden aikana haasteet nostettiin kuitenkin esille niin ikään.



## 6 EMPIIRISEN AINEISTON ANALYSOINTI

Tutkimus etenee edellä kuvatun tutkimusmenetelmän mukaisesti haastatteludatan analysointiin. Tämän analyysin pohjana käytetään lukujen 2–4 teoriaa. Luku 6.1 kuvailee haastateltujen yritysten aiemmat ja nykyiset AR-hankkeet sekä luo arviota AR:n soveltuvuudesta erilaisiin teollisiin prosesseihin. Luku 6.2 etenee tarkastelemaan laitteita, joilla AR:ää tarkastellaan, erityisesti fokuoituen AR-laseihin. Luvussa 6.3 käsitellään taustateknologioita, joita AR tarvitsee perustakseen laajamittaista käyttöönottoa varten. Näiden havaintojen pohjalta luodaan myös eräänlainen etenemissuunnitelma AR-valmiuksille. Luku 6.4 käsittelee haastatteluissa havaittuja hyötyjä, joita AR mahdollistaa. Vertailemalla kirjallisuuskatsauksessa havaittujen hyötyjen realisoitumiseen. Lopuksi luku 6.5 tarkastelee AR:n implementointia investointipäätöksenteosta siihen pisteeseen, että AR:n loppukäyttäjät tehtaan lattiatasolla kykenevät tunnistamaan AR:n luoman lisäarvon heidän työtehtävissään.

### 6.1 Prosessit

Teollisuuden lattiatason prosesseista etenkin kokoonpano, huolto ja diagnostiikka sekä tehtaan lattiatason työskentelyn koulutus nousivat paljon tutkituiksi ja yleisesti tunnistetuiksi sovellusalueiksi AR:lle. Lisäksi tiettyjä tukitoimintoja, kuten varastologiikka ja laadunvalvonta, tunnistettiin soveltuviksi käyttökohteiksi. Tämän luvun ensimmäinen vaihe on käydä läpi mitä näistä mahdollisuuksista on tähän mennessä hyödynnetty suomalaisten teollisuusyritysten toiminnassa. Tämän jälkeen, asiantuntijoiden arvioihin perustuen analysoidaan näkemyksiä AR:n potentiaalista teoriassa ilmenneisiin havaintoihin verrattuna.

### 6.1.1 Yritysten omat hankkeet

Tiivistetysti, yritysten kokemus AR:n käytöstä teollisuudessa oli rajallinen. Tämä aiheutti ongelman AR:n implementoinnin tarkastelulle. Vielä tällä hetkellä yritysten kokemus AR:stä perustuu pitkälti POC-kokeiluihin. Usea haastateltava ilmaisi myös suoraan, että ei voi kertoa hankkeista, joita niillä on kehitteillä. K5 kertoi, että ”on sellaisia kehityksiä menossa eteenpäin, mistä en voi puhua”. Myös yritykset, jotka kertoivat melko avoimesti tietyistä AR-projekteistaan, jättivät kertomatta toisista projekteista. Esimerkiksi T5 kertoi, että ”meillä ei ole mahdollisuuksia ihan kaikista esimerkeistä kertoa tarkkaan”. Teollisten AR-ohjelmistojen suunnittelualustaa kehittävä K3 puolestaan kertoi, että sitä sitoo salassapitosopimukset.

Edellä mainittu K3 kertoi, että sen ohjelmistoalustoja käytetään niin huolto-ohjeistukseen kuin tuotantolinjalle koneiden operointiin ja visuaalisten ilmoitusten näyttämiseen käyttäjän näkökentässä. Teollisuusyrityksistä T1, T2, T4 ja T5 kertoivat hyödyntäneensä AR:ää ainakin yhdessä lattiatason prosessissa. T3 kertoi, että yrityksellä on ollut suunnitelmia käyttöönottoon etätuen muodossa huollon tukena, mutta käyttöönottoa ei ole tapahtunut. Etätuki oli ainut huoltotoimintojen muoto, jossa yritykset kertoivat käyttäneensä AR:ää. T1 kertoi, yksittäisestä tapauksesta, jossa se hyödynsi AR:n avulla toteutettua etätukea koneen vaihteiston asentamisessa. T5 kertoi niin ikään kokeilleensa ja käyttäneensä laajasti etätukea, sekä myös tutkineensa huoltokohteeseen kohdennettuja AR-ohjeistuksia, joista työntekijät kertoivat pitäneensä ohjeiden hyödyllisyyden takia. Myös K5 nimesi etätuen yhtenä asiakkaille tarjottavana palvelunaan, ja tarkentavan kysymyksen jälkeen kertoi, että sillä on myös huoltokohteen tunnistavia opastavia järjestelmiä olemassa jo ainakin kehityksen asteella. Lisäksi T2 kertoi, että ”huoltopuolella on joitakin asioita tällä hetkellä menossa” tarjoten esimerkin, joka viittaa AR:n ja 3D-mallien avulla esitettävissä oleviin kokoonpano-ohjeisiin. Yksikään yritys ei kuitenkaan kertonut hyödyntäneensä AR:ää varsinaisella kokoonpanolinjalla.

Koulutus mainittiin kahden haastateltavan, T2:n ja T5:n toimesta. Haastateltavien rajanvedot AR:n ja muiden XR-teknologioiden välille aiheuttivat kuitenkin tiettyjä eroja tulkinnoissa. T2 kertoi VR-lasien avulla toteutettavasta ratkaisusta, johon oli kuvattu oikeaa fyysistä tehdasympäristöä ja lisätty virtuaalisia elementtejä, kuten tuleen syttyvä kone. Järjestelmässä ei siis fyysisesti liikuta fyysisessä ympäristössä, vaan ohjataan liikkumista virtuaalisessa ympäristössä, joka kuvastaa fyysistä ympäristöä. Vastaava ratkaisu voisi olla toteutettavissa AR-lasien avulla, jolloin esimerkiksi luokkahuoneen sijaan koulutuksen tulisi tapahtua oikeassa tehdasympäristössä oikeiden tuotantokoneiden ympärillä, joskin esimerkkitapauksen virtuaalinen tulipalo olisi yhä virtuaalinen. Myös T5 kertoi virtuaalisista koulutusmateriaaleista ilman varsinaista AR-elementtiä, joskin haastateltava oli myös näkemyksiä AR:n käytöstä koulutuksessa.

Muista lattiatason toiminnoista nousi esiin T4, joka kertoi tutkineensa tehtaan sisäpaikannusta ja kehittäneensä taustajärjestelmien valmiuksia tukea

esimerkiksi varaosatieiden saatavuutta ja varastonhallinnan tehokkuutta. T4 kertoi myös alustan kehittämistä, joka mahdollistaa vaivattomammin AR-sisällön kehittämisen. Myös T5 antoi ymmärtää, että sillä on kehitteillä jonkinlaista kehitysalustaa. IT-yrityksistä K1 kertoi olevansa kehittämässä alustaa AR-ratkaisujen toteutukselle, ja kuten aiemmin mainittua, K3 tarjoaa nyt jo kattavan määrän AR-ratkaisuja. Useampi niin IT-alan kuin myös teollisuuden alan yritys kertoi myös kehittäneensä AR:ää erinäisiin myynnin tueksi suunniteltuihin sovelluksiin, joko messudemoiksi tai esimerkiksi tuotteiden tarkasteluun älypuhelimilla. Myös tuotesuunnittelussa AR:ää käytti 3D-objektien visualisointiin ainakin T5, K1 ja K4.

### 6.1.2 AR:n soveltuvuus kokoonpanossa

Rajallisista käytännön kokemuksesta huolimatta suurin osa yrityksistä oli selvästi perillä AR:n tarjoamista mahdollisuuksista osoittaen kiinnostusta sen potentiaaliin. Kokoonpanotehtävät eivät kuitenkaan vaikuttaneet olevan haastateltavien ensisijainen mielenkiinnon kohde, mikä näkyy omakohtaisten kokeilujen puutteessa kaikkien teollisuusyhtiöiden kohdalla, ainakin sen perusteella mitä ne olivat valmiita kertomaan tässä vaiheessa. Lisäksi kommenttien kokoonpanoprosesseihin viittaamisen määrässä oli selvä ero suhteessa seuraaviin, eli huoltoon ja koulutukseen.

T5:n mielestä tehdastyön työnohjaus kokonaisuudessaan on mielenkiintoinen aihe, jossa annetuilla opastuksilla on suuri merkitys. T3 näkee, että AR:llä on potentiaalia tehokkaamman toiminnan ohjeistamisessa, mutta huomauttaa, että tämän yleistyminen on vielä hieman kauempana tulevaisuudessa esimerkiksi seuraavissa luvuissa käsiteltäviin huoltoon ja koulutukseen verrattuna.

K4 kertoi kokeilleensa toisen yrityksen kanssa Google Glass -lasien tuomista tuotantolinjalle, mutta näitä hyötyjä ei haastateltavan mukaan saatu tai pidetty realistisena lähitulevaisuudessa. Vastaavasti K3 kertoo, että sen asiakkaiden kokoonpanoprosesseissa AR:ää käytetään nyt jo paperisten manuaalien korvikkeena, AR:n tarjoten vaihe vaiheelta ohjeistusta työvaiheiden suorittamiseen. Lisäksi sen työkalulla kehitetyt ohjelmistot voivat esimerkiksi lähettää huomautuksia, mikäli työntekijän huomio alkaa herpaantua esimerkiksi työtehtävän toisteisuudesta johtuen. K3:n edustama yritys tarjoaa ohjelmistopalveluitaan kansainvälisesti, mikä voi olla osoitus siitä, että muualla maailmassa ollaan aktiivisempia AR:n käyttöönotossa, mutta 11 yrityksen otoksen perusteella liiallisia johtopäätöksiä ei ole suosiollista vetää.

### 6.1.3 AR:n soveltuvuus huollossa

Kommenttien yleisyydestä päätellen huoltoprosesseissa nähdään suurin potentiaali AR:n osalta. T3:n mukaan liiketoiminta muuttuu yhä enemmän palveluita kohtaan, ja näissä ihmisen rooli ei ole muuttumassa robottien myötä. Ihmisten tueksi kuitenkin tarvitaan AR:n kaltaista avustusta. Sekä T3 että T6 uskovat, että huolto- ja kunnossapitotoiminta ovat ensimmäisiä kohteita, missä

AR voi yleistyä. T6 korostaa AR:n yleistymistä etenkin vaativimmissa tehtävissä. T3 taas toteaa, että AR:ää käytetäänkin jo huoltotoiminnassa, viitaten etätuki-palveluihin. T3:n mukaan etätuki voisi olla järjestettävissä yksinkertaisimmillaan niin, että etäasiantuntija kykenisi Slack-videopuhelun aikana piirtämään videokuvaan ohjeistuksia. Myös K1 on samaa mieltä, että etätuki on jo nyt erittäin toimiva ratkaisu huollon tueksi. K5 kertoo hyödyntävänsä etätukea niin, että asiakas tai alihankkija voi AR-lasit päässä korjata ongelmia heidän etäasiantuntijansa tukemana. Myös K1 kuvailee AR:ää enemmän huoltohenkilöä ja tämän ammattiosaamista tukevana työkaluna kuin suorana ratkaisuna huollon toteuttamiseen tällä hetkellä. K2 huomauttaa, että ylläpitotehtävissä on paljon alihankintaa, tarkoittaen, että moni huoltotehtävä ei ole tehtaan omistavan yrityksen vaan ulkoisen kumppanin vastuulla. AR:n hyödyntäminen aiheuttaisi väkisinkin muutoksia työtehtävien suorittamiseen ja sitä myötä alikumppanuus-suhteisiin.

T5 näkee arvoa uusien tuotteiden yhteydessä tuotettavasta AR-ohjeistuksesta, jolloin huoltokohteen tunnistamalla pääsisi selaamaan sen ohjeita tai suorittamaan AR-opastettuja huoltotoimenpiteitä. T4 korostaa, että harvemmin, esimerkiksi kerran kuukaudessa, toteutettavissa huolloissa tietynlaiset vaiheen vaiheelta havainnollistavat räjäytyskuvat ja videot olisivat tarpeellisia. T4:n mukaan kunnossapidon ja kenttätöiden tehostamisessa AR:n avulla tavoitellaan paitsi säästöjä, myös parempaa asiakastyytyvyyttä ja sitä, että "saataisi se kokemus sieltä taustajärjestelmästä sille ihan uudellekin huoltomiehelle, että se näkisi mitä tässä [koneessa] pitää yleensä huoltaa" niin, että ongelmat saataisiin korjattua jo ensimmäisellä yrittämällä.

K1:n mukaan vaihe vaiheelta opastavat AR-järjestelmät ovat jo mahdollisia tänä päivänä, mutta niiden kustannustehokkuus herättää kysymysmerkkejä paljon resursseja vaativien sisällöntuotantoprosessien takia. T4:n mielestä järjestelmien tulee tarjota reaaliaikaista dataa, huolto-ohjeita, videotallenteita ja muuta sisältöä ollakseen aidosti hyödyllinen huoltoprosessissa. Yhdistettynä taustajärjestelmiin AR-järjestelmä voisi esimerkiksi opastaa käyttäjän oikean venttiilin luo ja sallia muutosten tekeminen virtuaaliseen dokumentaatioon yhdessä samassa käyttöliittymässä. T4 huomauttaa, että kustannustehokkaampi ratkaisu huolto-ohjeiden tuottamiseen voisi olla pelkästään kuvata prosessin suorittamista ja mahdollistaa videon katselu esimerkiksi mobiililaitteella tai AR-laseissa ilman varsinaista AR-toiminnollisuutta eli sidonnaisuutta ympäristöön.

AR:ää käytetään myös valvontatehtävissä. Kuten teoriassa esiteltiin mahdollisena, K3 kertoo, että järjestelmät antavat tietoa esimerkiksi käyttäjasta ja käytetyistä resursseista, joiden perusteella voidaan ennustaa tulevia tarpeita. T6 kertoo, että tuotanto-operaattoreiden kiertäessä eri osastoilla eri koneiden äärellä, kunnonvalvontaa helpottaisi merkittävästi luonteva pääsy koneen dokumentaatioon ja siihen mitä laitteesta tulee tarkastaa. Haastateltava kuitenkin kertoo, että hänen edustamassaan yrityksessä AR:n hyötyjä ei ole tunnistettu riittävän hyvin, jotta se olisi edennyt käyttöönoton suunnitteluun,

sillä dokumentaatio ja reaaliaikainen data ovat jo saatavilla valvomon monitoreilta ja yrityksen SAP-järjestelmästä esimerkiksi mobiililaitteissa.

#### 6.1.4 AR:n soveltuvuus koulutuksessa

Vaikka useampi yritys koki huollon ensimmäisenä yleistymässä olevaksi teollisen AR:n käyttökohteeksi, T4 ja T6 nostivat koulutuksen todennäköisimmäksi ensimmäiseksi yleistymiskohteeksi. T4:n mukaan "koulutus on tällä hetkellä isoin hype" ja T6:n mukaan "vaativien kohteiden simuloinnit tai koulutukset olisi varmaan se ykkönen".

T5:n mielestä AR:n etu on, että todellisuus on siinä jatkuvasti läsnä ja se, että kokemus voi olla hyvin interaktiivinen, kun käyttäjälle voidaan visualisoida erinäistä koneeseen tai sen osiin liittyvää tietoa. Myös T1 ja T2 korostavat todellisen ympäristön tarjoamaa autenttisuutta. AR:n suuremmasta hyödyllisyydestä T1 ei silti ollut varma. T4:n mukaan näkömuistin ansiosta ihminen oppii nopeasti, kun se näkee toimenpiteen toteutettavan. Haastateltava kertoo, että "jossain on sanottu, että se on 50-60 %:a parempi koulutuksen lopputulos, kun se saadaan näkömuistiin muutaman kertauksen jälkeen". PDF-tiedostoihin verraten hän lisää, että dokumentista esimerkiksi järjestystä ei opi yhtä luontevasti. AR-koulutusmateriaali esimerkiksi tietyistä koneista on myös helposti käsiteltävissä kentällä koulutuksen jälkeenkin. Pyydettyäessä vertailemaan virtuaalitodellisuuden käyttöön koulutuksessa, T4 arvioi, että "AR on ehkä halvempi ja nopeampi tietyissä tapauksissa tehdä" verraten virtuaalitodellisuuden virtuaalisiin 3D-objekteihin ja niiden kehittämisen vaivalloisuuteen. Hänen mukaansa AR voidaan toteuttaa ilman 3D:tä kaksiulotteisilla 360-asteisilla kuvilla.

Toisaalta K1:n mukaan "VR on tosi hyvä, jos sinulla on ennustettu huolto" ja jatkaa, että AR sopii paremmin tilanteisiin, joissa täytyy reagoida heti. Haastateltavan mielestä VR sopii kuitenkin paremmin koulutukseen, sillä koulutuksen voi VR:ssä tehdä ajasta ja paikasta riippumatta, ja "oppimiskokemus on kuitenkin vahva". AR on haastateltavan näkemyksen mukaan tietoa, jota viedään paikan päälle, kun taas virtuaalitodellisuudessa kouluttaminen voi tapahtua tuotantoa häiritsemästä. K4 oli kahden vaiheilla paremmasta vaihtoehdosta koulutukseen, ja huomautti huoltokohteen koolla olevan vaikutusta päätökseen. Suurempia kohteita kuten laivojen dieselmootoreita on helpompi havainnollistaa virtuaalitodellisuudessa, jossa ne ovat siirreltävässä ja pienennettävissä. Myös T1 kommentoi, että kohteissa, joihin pääsee vain harvakseltaan, on vaikea kouluttaa ihmisiä, ja huoltoseisokeissakin aika tulee käyttää tehokkaasti korjaamiseen kouluttamisen sijasta, joten tällaiseen kohteeseen virtuaalitodellisuus on sopivampi. K3 tiivistää, että AR sopii lähinnä ohjeiden antamiseen, mutta virtuaalitodellisuus sopii paremmin monimutkaisempiin koulutuksiin, kuten toimintaan tulipalon tapahtuessa, koneiden operointiin ja uusien tehdasasettelujen opetteluun. T3 kertoi niin ikään käyttävänsä virtuaalitodellisuutta koneiden operoimisen kouluttamisessa.

### 6.1.5 AR:n soveltuvuus muissa tehdastoiminnoissa

Logistiikkaan liittyen kaikilla yrityksillä ei ollut kommentoitavaa. K1 tunnistaa, että varastotyö on ”myös semmoinen use-case, mikä AR:ssä on lyönyt läpi aika validoidusti jo”. K4 näki AR:n mahdollisuuksia siinä, että AR voisi visualisoida esimerkiksi keruupaikkojen sijainteja, niiden saldotilanteita, optimoituja reittejä keruutehtävien suorittamiseen ja kohtia, joista tulisi esimerkiksi trukilla nostaa.

T4 näkee laajemman potentiaalin kokonaisvaltaiselle varastohallinnalle, jossa sisäpaikannuksen, tuotteissa olevien QR-koodien ja eri taustajärjestelmien avulla voitaisiin hallita varastoa aivan uudella tavalla. AR:n rooli olisi auttaa visualisoimaan esimerkiksi jonkinlaisella paikantimella varustettu oikea kontti tai hylly oikean varaosan paikantamiseksi. Lisäksi kenttätyöntekijä kykenisi esimerkiksi AR-lasien kameralle korjattavaa osaa näyttämällä nopeasti tarkistamaan varaosatilanteen. Vastaavanlaista järjestelmää visioi K5, jonka mukaan huoltomies voi lasien kautta esimerkiksi kuitata tietyn osan vaihdon kentällä, jolloin varasto voi automaattisesti tilata uuden varaosan. K4:n mukaan houkutus on kuitenkin, että ennemmin kehitetään varastotoimintaa robottien hoidettavaksi AR:ään investoimisen sijaan. T3 arvioi, että heidän tapauksessansa varastotoiminnasta olisi automatisoitavissa jopa 50–80 %:a, ”ellei enemmänkin”, lisäten, että tekoälyn rooli tulee kasvamaan.

Turvallisuuden parantamisen osalta kolme haastateltavaa esitteli ajatuksiaan. T3 näkee turvatoiminnoissa suuren potentiaalin AR:lle. Teollisella alueella liikkussa eri toimijat voisivat saada reaaliaikaisia varoituksia muista ympäristössä liikkuvista, jolloin vaaratilanteita esimerkiksi suurten koneiden ja näkökentän ulkopuolella olevien ihmisten liikkeistä voitaisiin varoittaa ennen vaaratilanteen syntymistä. T4 kertoo, että AR olisi ”paras mahdollinen käyttää vaaratilannekoulutuksiin”. T2 käyttää omaa koulutusohjelmistoaan juuri vaaratilanteissa toimimisen kouluttamiseen. T4 lisää, että AR voisi auttaa myös evakuointien tekemisessä, kun laitteen paikantamalla voitaisiin tunnistaa vaarallisessa paikassa olevan työntekijän sijainti. AR-järjestelmä voisi myös opastaa vaarallisessa paikassa olevan esimerkiksi turvallisinta poistumistietä kohti. T1 kiteyttää, että prosessista riippumatta ”laadukas työ on turvallista”, ja toimimalla oikeiden ohjeistusten avulla voidaan parantaa myös turvallisuutta.

AR:n käytöstä laadunvalvonnassa K4 esittelee ajatuksen, että AR-ohjelmisto kykenisi automaattisesti tunnistamaan tavaroita esimerkiksi niitä siirrettäessä tavaravirrassa eteenpäin, tai pakatessa laatikkoon. Muista tehdasprosesseista K1 nosti esiin AR:n potentiaalin tehdassuunnittelussa 3D-visualisoinnin mahdollistaessa suunnitelman luontevamman arvioinnin reaaliympäristössä. K1 visioi myös eräänlaista törmäysraporttijärjestelmää, jossa AR:n avulla kyettäisiin visualisoimaan ja suunnittelemaan uuden komponentin, kuten tuotantokoneen, tuomisen tehdastilaan, sekä suunnittelemaan asennustyötä sen ympärillä. Järjestelmän tarkoituksena olisi näin välttää koneen paikalle tuomisessa ja asentamisessa aiheutuvia ongelmatilanteita, jolloin virheiden välttäminen ja luontevampi suunnittelu ja kommunikointi voisivat tuottaa myös rahallista hyötyä.

## 6.2 Laitteet

Kirjallisuuskatsaus osoitti, että tällä hetkellä AR-markkina perustuu vielä mobiililaitteille suunnattuihin ratkaisuihin, mutta tutkijoiden ja laitevalmistajien suunta on selvästi kehittää AR:ää kohti AR-laseja. Luku 6.2.1 käsittelee AR-lasien kehitystä ja mahdollisuuksia. Mobiililaitteet ja muut AR-järjestelmät jäivät haastatteluissa vähemmällä painoarvolle, mutta niitä käsitellään lyhyesti luvuissa 6.2.2 ja 6.2.3.

### 6.2.1 AR-lasit

K4:n mukaan nykyisten AR-lasien tuominen teolliseen ympäristöön ei ole toteutumassa vielä lähivuosina. Teollisuusyrityksistä muun muassa T2:n mukaan AR-lasit ovat vielä ”jonkin verran kömpelöitä”, ja lisää, että se on suurin syy miksi heidän yrityksensä AR:ää ei ole viety eteenpäin. K3, joka kehittää AR-ohjelmistoalustallaan ratkaisuja erinäisille teollisuusyrityksille, toteaa, että markkinoilla ei ole vielä täydellisiä AR-laseja, vaan AR-lasien laitteistoja on monenlaisia ja jokaisessa on vielä jonkinasteisia puutteellisia. T5:n mukaan niin AR-lasien teknologiassa, käyttömukavuudessa, käytettävyydessä kuin myös sisällön määrässä on vielä kehitettävää.

K4:n mukaan suurin hidaste AR:n yleistymiselle on AR-laitteiden kasvukivut, minkä takia ne eivät vielä sovellu täysin tuotantoon otettaviksi. Haastateltava kuitenkin arvioi, että kun laitteet alkavat olla teknisesti riittävällä tasolla, ja ”kuuluissa kriittinen massa ylittyy”, laitteet voivat yleistyä varsin nopealla tahdilla. Yhden alkaessa hyötyä, muutkin haluavat hyötyä. K3 uskoo vakaasti, että ennen pitkää AR-lasit tulevat yleistymään älypuhelimien kaltaisena uutena käyttöliittymänä. T4 lisää, että kuluttajakäytön myötä AR-lasit halpenevat, mikä madaltaa kynnystä AR:n laajemmalle käyttöönotolle. T4 näkee, että AR on kehittynyt pisteeseen, että sen läpimurto olisi vihdoin tulossa lähivuosien aikana. Myös T5 uskoo AR:n lyövän läpi kunhan ”tekniikka kehittyy [ja] tulee uusia osajia työmarkkinoille”. Tällä hetkellä AR-laitteiden kehitystä haittaa myös komponenttipula.

T4 kommentoi valmistajia, että suuria toimijoita on kolme: Apple, Microsoft ja Meta. Apple ei ole virallisesti julkistanut tietoja kehittämistään AR-laseistaan, mutta kuten teoriassa todettiin, sellaisten uskotaan olevan tulossa. Microsoft on jo nykyisellään suuri toimija HoloLens 2-laseillaan. T4 kommentoi Metan Oculus-lasien olevan edulliset ja laadukkaat ja tarjoten siten hyvän hinta-laatu-suhteen. T4 myös kertoo suomalaisista Dispelix-valojohdelinsseistä, joiden kuvanlaatu on haastateltavan mukaan erinomainen esimerkiksi HoloLens 2-laseihin verrattuna, joskin näkökentän alue on yhä rajallinen.

T3:n mukaan AR-lasit ovat kehittyneet merkittävästi ensimmäisten järjestelmien lukuisista ongelmista. Myös T5:n mukaan AR-lasien näkökentän laajuus, kuvan laatu ja visualisointitekniikat ovat menneet jo paljon eteenpäin aiempiin laseihin verrattuna. K3 kertoo nykyisten asiakkaidensa AR-kokemuksista olemassa oleviin paperi- ja kynä-ratkaisuihin ja

taulutietokoneiden käyttöön verrattuna, että AR-lasien avulla esimerkiksi tiedon syöttäminen on vaivattomampaa ja työ sujuu nopeammin, kun työtä ei tarvitse keskeyttää esimerkiksi iPadin esiin ottamiseksi. Teollisuusyrityksistä T5 kertoi, että sen työntekijöiden kokemukset AR-lasien käytöstä ovat olleet ”varovaisen positiivisia aina”.

Silti grafiikoiden riittämättömän laaja ja tarkka näkyminen vaivaa tiettyjä käyttäjiä. T4 korostaa myös näyttöjen virkistystaajuuden ja minimaalisen viiveen tärkeyttä. K1:n mukaan nykyiset AR-laitteet eivät vielä näytä 3D-sisältöjä niin hyvin kuin olisi tarkoitus. K1 kommentoi sisältöjen ankkuroinnin puutteita, eli kun käyttäjä liikuttaa päätään tai katsoo muualle, suurin osa laitteista ei osaa pitää virtuaalisia sisältöjä samassa fyysisessä kohteessa. Yleisesti ottaen teknologiset haasteet eivät kuitenkaan tuntuneet vaivaavan yrityksiä niin paljon kuin esimerkiksi käytettävyyteen liittyvät haasteet.

K2 ilmaisee huolen akkujen kestoa kohtaan. T4:n mukaan HoloLens 2-lasien akut kestävät todellisuudessa vain 2–4 tuntia johtuen siitä, että näytöt halutaan saada mahdollisimman kirkkaiksi ja suuriksi, mikä kuluttaa akkua nopeammin. T6 ei näe akkujen lyhyttä kestoa ongelmaksi ainakaan omissa huoltoprosesseissaan. Haastateltava toteaa, että käyttöaika ”rajautuu semmoiseen pariin tuntiin” arvellessaan AR-lasien avustamana toteutettavan huoltokierroksen kestoa. Tämän jälkeen lasit olisi mahdollista laittaa lataukseen. Akun kesto voi siis olla riittävä tiettyihin työtehtäviin.

K3 myötäilee painoon liittyviä haasteita kertomalla asiakkaiden valituksista sekä myös omista kokemuksistaan, että painavat AR-lasit aiheuttavat helposti niskakipuja ja sitä myöten päänsärkyä. Eri näyttöteknologiat voivat rasittaa silmiä eri tavoin, joka voi johtaa niin ikään päänsärkyihin tai silmien kuivumiseen. K3 lisää, että silmien rasitus tai vääränlainen toiminta voi johtaa huimaamiseen, mutta haastateltavan mukaan nykyisin tällaista huolta ei enää kuule. Hän arvelee syyn johtuvan laitteiden kehitymisestä. Myös T5 kertoo, että alussa AR-lasit tuottivat helposti pahoinvointia lyhyessäkin käytössä. T5:n mukaan AR-lasien käyttömukavuus on jo kuitenkin sillä asteella, että AR-lasit päässä pystyy viettämään ”vaikka useamman tunnin mittaisen kollaboraatio-palaverin”. T4:n mukaan parempi virkistystaajuus eli virtuaalisten elementtien liikkuminen lähempänä reaaliaikaa estää huimausefektin syntymistä. T4 kertoo lisäksi lukeneensa, että AR-lasit aiheuttavat enemmän pahoinvointia naisille kuin miehille. Ainakin VR-laseihin liittyviä vastaavia havaintoja kuvailee esimerkiksi Wolterbeek (2018). T5 nostaa esiin tiettyjen käyttäjien kokemuksia, että AR-lasit ovat ahdistavia ja epähygieenisia. Myös teoriassa ilmeni huolet AR-lasien hygieenisyydestä ainakin yhteiskäyttölaitteiden tapauksessa. T4 lisää, että laitteiden painon ja hiostavuuden takia käyttömukavuus ei ole pitkäaikainen. K3 huomauttaa, että AR-lasien virtuaalisilla käyttöliittymillä laite ei likaannu kuten taulutietokone, jota käsitellään usein likaisilla sormilla.

Sekä T1 että T4 korostavat käytännöllisiä haasteita, kuten AR-lasien integroitavuutta turvakypärään. T6 lisää, että heidän tehtaallaan myös korvien suojaus ja käsien suojaus on usein vaadittua, jolloin AR-lasien pitäisi ottaa



huomioon myös korvasuojaimien käytön mahdollistaminen. Käsien suojaus taas ei aiheuttaisi ongelmaa, kunhan AR-lasit tunnistavat myös käsineet käsissä annettuja käsielekomentoja. T1:n tehtaalla silmien suojaus on välttämätön lähes kaikkialla tehtaassa, joten AR-lasien tulisi olla käytettävissä suojalasiensa kanssa, tai itsessään sisältää luokitus turvalaseiksi. T6 lisää, että tavallisten suojalasiensa kanssa tulee helposti ongelmia huurtumisen kanssa korkeiden kosteustasojen kanssa työskenneltäessä. Myös T1 kertoo huurtumisen, lämpötilavaihtelujen ja pölyn aiheuttavan omia kysymysmerkkejä AR-lasien käyttöönotossa. Lisäksi K3 huomauttaa, että silmälasien käyttö ei onnistu kaikkien laitteiden kanssa hyvin. Tarpeen tullen olisi myös hyvä, että AR-lasien linssin saisi nostettua pois silmiltä. Tällaisesta esimerkkinä T4 nimeää HoloLensiin yhdistetyn Trimble XR10-mallin.

K1 tiivistää lukemansa ammattikorkeakoulussa tehdyn lopputyön tuloksia, että AR-lasien käyttöliittymien kehittämisessä ja käyttökokemuksessa on vielä hyvin paljon parannettavaa. T4 kuitenkin esittää eriävän mielipiteen kertomalla, että AR-lasien käytettävyys on tehty helpoksi, ja että oppiminen luonnistuu ilman suurempaa opastusta. Haastateltava lisää, että tietyt ihmiset kokeilevat varovaisemmin ja toiset, etenkin videopeleistä kokemusta omaavat ihmiset, taas oppivat nopeasti. T1:n mukaan ääniohjaus ”ei tule kysymykseen, [...] meillä on tuolla tehtaalla sen verran paljon melua”. Myöskään silmienliikkeisiin perustuvan ohjauksen ei koettu olevan riittävän luotettava ratkaisu esimerkiksi mobiililaitteisiin verrattuna. T6 kertoo kokeilleensa AR-laseja vain ns. laboratorio-olosuhteissa, mutta arvelee niin ikään, että taustamelun kanssa ääniohjauksen vaatima tarkkuus aiheuttaisi haasteita. T6 näkee, että käsieleiden annettavat komennot toimivat paremmin heidän tarpeisiinsa. K1 kommentoi AR-lasien ääniohjausta sanomalla, että ”se on niin typerä tunne puhua ääneen ja käskyttää konetta”, lisäten, että ääniohjauksessa myös pitää usein toistaa käskyjä uudestaan, kun laite ei tunnista mitä sille sanotaan. K1 kiteyttää, että vaikka teknologialla olisi suuri potentiaali, niin ”jos ihmisille tulee fiilis, että hän voi nolata itsensä käyttämällä sitä teknologiaa, se käyttäjä ei tule koskaan käyttämään sitä”.

## 6.2.2 Mobiililaitteet

Mobiililaitteiden käyttö on, kuten mainittua, varsin yleistä AR-sisällön näyttämässä tänä päivänä. K4:n mukaan ohjelmistot olisi hyvä suunnitella siten, että niitä voi käyttää laitteesta riippumatta, myös mobiililaitteissa. T4 näkee mobiililaitteet vaihtoehtona lähinnä halvemman hinnan ja laajan levinneisyytensä ansiosta, mutta huomauttaa, että AR-laseihin saadaan integroitua enemmän mahdollisuuksia. Nämä mahdollisuudet liittyvät erityisesti mahdollisuuteen käyttää AR-laseja ilman käsiä. Mobiililaitteiden laajan levinneisyyden johdosta AR-toiminnot ovat K1:n mukaan helppo implementoida, eikä mobiililaitteiden käyttöön liity psykologisia esteitä, kuten ajatuksia siitä, nolaako käyttäjä itsensä laitetta käyttämällä. K1 kuitenkin jatkaa, että mobiililaitteiden kohdalla AR-kokemus ei ole niin sanotusti aitoa AR:ää, vaan 3D-sisältöä 2D-näytöllä ilman upottamista käyttäjän todelliseen

näkymään. Hän lisää, että mobiililaitteiden vajanaiset AR-kokemukset ovat mahdollisesti jopa saaneet ihmiset luomaan itselleen negatiivisemmän kuvan AR:n mahdollisuuksista.

Mobiililaitteiden ongelmana on K2:n mukaan myös se, että huoltokäsineiden kanssa käyttö ei onnistu, joskin T1 huomauttaa, että kosketuskynät auttavat tässä, ja toteaa, että heidän kokeilussaan mobiililaitteiden käyttö AR-etätuen toteuttamiseen koettiin AR-laseja parempana vaihtoehtona, johtuen käytettävyyden ja turvamääräysten rajoituksista, joita käsiteltiin aiemmin. Etätuen tapauksessa myös K1 näkee AR:lle hyvin soveltuvan käyttötavan mobiililaitteissa, vaikka muiden käyttötapojen suhteen hän on kriittisempi. K4 lisää, että mobiililaitteita käytetään jo laajalti asennuksissa ja kokoonpanoissa, ja siltä osin mobiili-AR:llä ei olisi paljoa todistettavaa. K3 huomauttaa, että mobiililaitteet mahdollistavat yhtä lailla liikkumisen ympäristössä kuin AR-lasitkin.

### 6.2.3 Muut AR-järjestelmät

Muut AR-järjestelmät jäivät haastatteluissa vaille suurempaa huomiota. Yksi haastateltu konevalmistaja kertoi yrityksen pohtivan HUD-näyttöjen kehittämistä tuleviin tuotteisiinsa, jolloin AR-sisällön esittäminen onnistuisi operoitaessa laitetta sen sisältä. AR olisi näin ollen ulkoista arvoa luova tuotteen osa tai ominaisuus, jota asiakas voisi käyttää prosesseissaan arvokkaan tiedon välittämiseen esimerkiksi muista alueella liikkuvista henkilöistä ja koneista. HUD-näyttö ei myöskään vaatisi käyttäjää pitämään päässään tai käsissään erillistä laitetta, vaan näyttö olisi kiinteässä sijainnissa käyttäjän näkökentässä laitteen kontrollien edessä. T5 taas kertoi, että myös älykellot voivat täyttää riittävät vaatimukset tiettyihin visualisointi- ja tiedonjakotarkoituksiin. Haastateltava kokee, että vaihtoehtoisia tiedon esittämistapoja on useita, ja AR on vain yksi niistä riippumatta laitteesta, jota se hyödyntää.

## 6.3 Taustateknologia

Usea haastateltava korostaa, että AR:n käyttöönoton tulisi olla kokonaisvaltainen ratkaisu eikä vain yksittäisiin toimintoihin tarkoitettu työkalu. Kokonaisvaltaisuuudella he tarkoittavat, että AR-järjestelmän tulisi mahdollistaa pääsy organisaation eri järjestelmiin sekä visualisoida niistä haettavaa työntekijälle oleellista dataa. Integrointi itsessään on kuitenkin haastava tehtävä ensisijaisesti vakiintuneiden standardien puutteista johtuen. Tässä luvussa käsitellään AR:n integroimista yrityksen IT-infrastruktuuriin, tuotantokoneistoon, datanhallintaan ja erinäisiin tietojärjestelmiin, joissa kerättyä dataa hyödynnetään arvon luomiseksi.

### 6.3.1 Yhteydet

T1 nostaa esille ongelman verkkoyhteyksien kantavuusalueesta, ja kertoo, ettei heidän tehtaansa alueella Wi-Fi verkot eivätkä myöskään mobiililaajakaistayhteydet toimi kaikkialla. Kehitteillä olevat uudet verkkoinfrastruktuurit voisivat haastateltavan mukaan auttaa tässä ongelmassa. T6 toteaa saman, ja lisää, että heidän nykyiset järjestelmänsä onkin jouduttu suunnittelemaan siten, että vaikka yhteys verkkoon katkeaisi, laitteeseen syötetty tieto silti tallentuu heti kun verkkoyhteys palaa. Vastaavanlaisia toiminnollisuuksia pitää mahdollisesti hyödyntää AR:n kohdallakin. K2 vertaa suuria teollisuuskoneita eräänlaisiin Faradayn häkkeihin, jotka herkästi estävät erilaisten langattomien yhteyksien kulkemisen. Tämä on ongelma tehdasympäristössä, jossa AR ja lukuisat muutkin laitteet vaativat verkkoyhteyttä. Tietyt AR-toiminnollisuudet voivat toki toimia ilman yhteyttäkin. T3 huomauttaa, että yhteydet ovat ongelma myös kentällä, jossa 5G ja 4G-yhteyksiä ei mahdollisesti ole saatavilla.

K1 huomauttaa, että 3D-resurssien hyödyntäminen vaatii yhä nopeampia yhteyksiä ja kykyä käsitellä suuria määriä dataa, minkä seurauksena olemassa oleva IT-infrastruktuuri ei välttämättä riitä tukemaan esimerkiksi laajamittaisen AR:n implementoinnin vaatimuksia, ainakaan ilman muokkauksia. Haastateltavan mukaan 5G ja reaaliaikainen sovellusten striimaaminen tekee kuitenkin AR:stä ja yleisesti 3D-resurssien hyödyntämisestä jatkuvasti kustannustehokkaampaa. Myös T4 kertoo etärenderöinnin mahdollisuuksista, jossa AR-laitteen tiedon prosessointi tehdään laitteen oman prosessorin sijaan palvelimella tai pilvessä, ja 5G-yhteyden avulla lähetetään AR-laitteeseen oikea tieto. Viive AR-laitteen ja palvelimien välillä on yhä ongelma, mutta haastateltava kertoo optimistiseen sävyyn etärenderöinti-tekniikan kehittymisestä ja sen mahdollisuuksista tulevaisuudessa. Tiedonsiirto riippuu verkkoyhteyksien lisäksi muusta IT-infrastruktuurista. T4:n mukaan kaksisuuntaisen kommunikoinnin järjestelmien välillä mahdollistamia OPC UA -palvelimia on otettu käyttöön niin paljon viime vuosina, että AR-järjestelmien käyttöönotto voi alkaa yleistyä merkittävästi lähivuosien aikana. OPC UA on lisäksi monien laitevalmistajien tukema maailmanlaajuinen standardi.

### 6.3.2 Datankeruu ja -hallinta

Kuten kirjallisuuskatsaus osoitti, AR-järjestelmä on muiden tietojärjestelmien lisäksi integroitava koneisiin, joita käytetään tuotannossa, kokoonpanossa tai huollon kohteena. T1 kertoo, että heidän eri vuosikymmeniltä peräisin olevat koneet antavat heikommat mahdollisuudet datan keräämiselle. Uudet koneet suunnitellaan alusta pitäen mahdollistamaan datankeruu. Haastateltavan mukaan digitalisoituneiden tehtaiden yleistymiseen menee hänen edustamallaan toimialalla vielä ainakin 10-15 vuotta. Suurin osa haastateltavista kuitenkin kuvailee, että heidän tehtaiden koneista on jo saatavissa ohjausjärjestelmien kautta ainakin jonkin verran dataa. K4 ei pidä vanhojen koneistojen ongelmaa erityisen suurena, koska hänen mukaansa vanhoihin koneisiin on asennettavissa sensoreita lähettämään tietoa.

K3 kertoo, että useimmiten heidän asiakkaillansa on jo laitteiston osalta valmiudet käyttöönnotolle, jolloin kysymys on vain yhteyden muodostamisesta teollisuuskoneistosta AR-ohjelmistoon ja AR-laseihin. Haastateltava kuitenkin lisää, että tehtaan täytyy olla tiettyyn pisteeseen asti jo digitalisoitunut, joko uusia koneita hankkimalla, tai päivittämällä laitteistoa verkon välityksellä kontrolloitaviksi. Tämän jälkeen integroinnissa on kyse vain web-sovelluksen kautta oikeiden kommunikointiprotokollien määrittämisestä, jonka jälkeen haluttu kone on kontrolloitavissa AR-sovelluksen välityksellä.

Kun data on olemassa, K2:n mukaan AR:n hyödyntämisen ensisijainen kriteeri on tiedonhallinta. Taustajärjestelmien ja tiedon keräämisen koneista pitää siis olla kunnossa. T3 kertoo, että hänen edustamansa osasto on vasta perustettu, ja alustava prioriteetti on yhdistää eri liiketoimintayksikköjen omat Amazon Web Services -pilvitietokannat yhden saman tilin alle kustannusten säästämiseksi. Tämän jälkeen pyrkimys on alkaa kerätä dataa sen asiakkaiden käyttämistä koneistaan ja hyödyntää sitä esimerkiksi tehokkaamman toiminnan ymmärtämiseksi. Tämän datan on myös oltava turvassa. T3 nimeää tietoturvan yhtenä potentiaalisena ongelmana tiedonsiirrossa kentiltä ympäri maailmaa. Samaa sanoo K1, joka huomauttaa, että esimerkiksi kevennettyjen 3D-suunnittelumallien jakeleminen eri paikoissa voi päästää mallit ennen pitkää väärin käsiin. K2 huomauttaa pohtimaan onko yrityksellä esimerkiksi käytössä digitaaliset identiteetit kaikille työntekijöille vai yhteiskäyttötunnuksia käyttöönnotettaviin laitteisiin. Haastateltava lisää, että esimerkiksi reaaliaikainen prosessidata on tietoa, johon pääsemistä ei kenelle tahansa voida sallia.

K2:n mukaan identiteetin- ja tiedonhallinta ovat implementaation tärkeimpiä perustuksia uuden teknologian arvon luomiseen, lisäten, että ne ovat "kuitenkin aika yksinkertaisia integrointeja sen jälkeen, kun se data on saatavilla". T3 on kuitenkin eri mieltä, ja kertoo esimerkkinä, että AR-etätuen tarjoamisessa ulkoisen palvelun kautta haasteeksi olisi tullut integrointi SAP:n ERP-toiminnanohjausjärjestelmään sekä Salesforce-asiakassuhteidenhallintaympäristöön. T4 toteaa, että taustajärjestelmien konfigurointi on kallista, mikäli taustajärjestelmät eivät integroidu saumattomasti AR-järjestelmiin. Tähän tarvitaan valmiiksi kehitettyjä standardoituja API-sovellusrajapintoja. T4:n mukaan yleiset SAP:n ERP-järjestelmät kuitenkin eroavat paljon toisistaan, kun niitä konfiguroidaan kunkin asiakkaan tarpeisiin. Tämän seurauksena uusien järjestelmien, mukaan lukien AR-järjestelmien, integroimisesta tulee asiakaskohtaisia projekteja eikä kaikille sopivaa valmisratkaisua ole luotavissa.

### 6.3.3 Tiedon hyödyntäminen

Kun tieto on olemassa ja hallinnassa, seuraava askel on hyödyntää sitä. K1:n mukaan koko AR:n suurin potentiaali on visualisoida tuotantokoneista digitaalisen kaksosen kautta saatavissa oleva data järkevään ja hyödylliseen muotoon. Haastateltava kuvailee digitaalista kaksosta teollisen digitalisoitumisen "suurena Graalin maljana", ja AR:n rooli tässä kokonaisuudessa on muotoilla data sidosryhmille tarjottavissa olevaan muotoon. Myös moni muu haastateltu henkilö kuvailee, että digitaalisen

kaksosen datan visualisoinnilla fyysiseen ympäristöön AR:n avulla olisi paljonkin hyötyä. T4 näkee, että suurin potentiaali digitaaliselle kaksoselle on reaaliaikaisessa simuloinnissa. T3 kertoo, että digitaalisen kaksosen kehittämisestä on ollut puhetta yrityksen sisällä, mutta ensiksi sen täytyy asemoida itsensä keräämään enemmän dataa sekä hyödyntämään dataa, ennen kuin digitaalisen kaksosen hyödyt ovat saavutettavissa. Haastateltava ei kuitenkaan pidä digitaalista kaksosta välttämättömänä AR:n hyödyntämisen kannalta. T2 kertoo ottaneensa virtuaalitehdas-mallin käyttöön kolme vuotta sitten, joka tarjoaa nyt jo hyötyjä sekä koulutukseen että tehdassuunnitteluun. Pitkän ajan tavoitteeksi T2 kuvailee täysin virtualisoitua kaksosta, jossa oikeiden koneiden reaaliaikainen toiminta on mallinnettavissa suoraan virtuaaliseen malliin. Haastateltava kiteyttää, että "jos joku vaunu liikkuu [oikeassa tehtaassa], niin sitten se liikkuu myös siellä virtuaalisessa ympäristössä". Tällaisen virtuaalisen kaksosen luominen on myös K1:n mielestä houkutteleva ajatus, mutta hän lisää, että "eihän sitä vielä ole tehty".

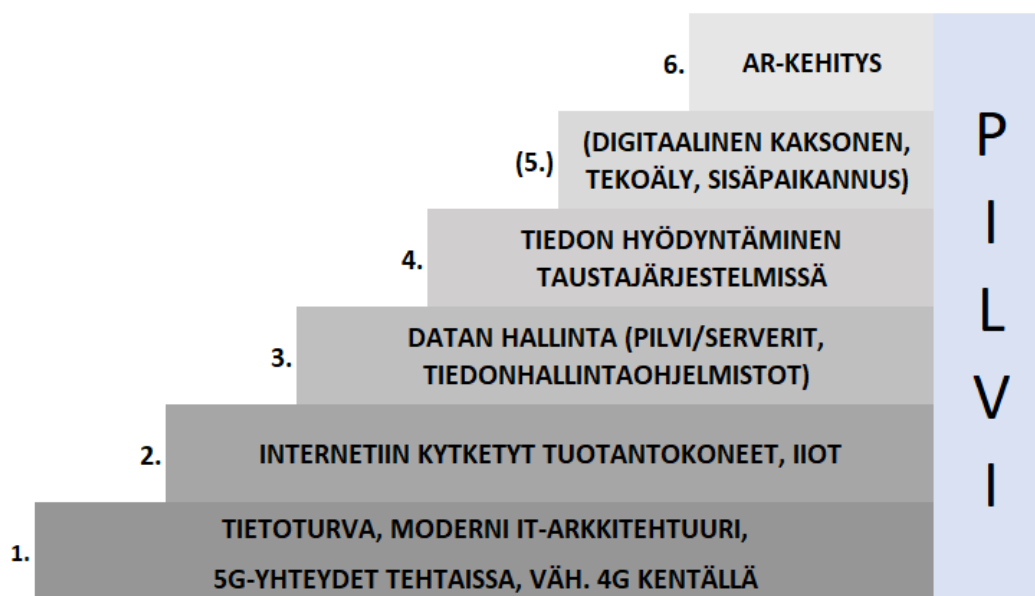
Koneista, sensoreista ja käyttäjistä kerättävällä tiedolla on muodostettavissa kattavia kokonaisuuksia. T4 korostaa sisäpaikannuksen arvoa AR:ään yhdistettynä. Käyttäjän sijaintiin perustuva sisältö on hänen mukaansa AR:ssä "se homman pihvi". Sisäpaikannus kuitenkin vaatii erinäisien sensoreiden asentamista lähettämään tietoa sijainneista, mikä taas nostaa kustannuksia. Kuten teoriassa mainittiin, tähän mennessä sopivia järjestelmiä ole ollut myöskään saatavilla. T5:n mielestä sisäpaikannus ei ole välttämätön toiminnollisuus AR:n hyödyntämisestä, mutta toteaa, että se voi olla tapauskohtaista. Esimerkiksi kokoonpanolinjalla, jossa ollaan pitkälti yhdellä samalla paikkaa, sisäpaikannuksesta ei olisi suurta lisähyötyä. Työpisteen voi paikantaa esimerkiksi QR-koodin avulla, jolloin käyttäjän AR-järjestelmään on lähetettävissä työpisteen kannalta relevanttia tietoa.

#### 6.3.4 Esimerkki: Perustojen luominen AR:lle

T4 kuvailee kattavasti kehittämäänsä OPC UA-palvelinten välityksellä toimivaa alustaa, joka kykenee QR-koodin avulla hakemaan halutun koneen tai tuotteen tiedot taustajärjestelmistä esimerkiksi mobiililaitteelle tai AR-laseihin. Alustan avulla tuotteen tai koneen tiedot ovat haettavissa käyttöliittymään reaaliaikaisesti päivitettävissä olevasta tietokannoista, jolloin tietoa, kuten huolto-ohjeita, ei tarvitse olla valmiiksi AR-ohjelmistoon itseensä tallennettuna. Haastateltava kertoo, että tavoitteena olisi yhdistää reaaliaikainen prosessidata, digitaalisesta kaksosesta simulaatiodata ja pilvipalveluista ennustedata. Näistä osoitevaruuksista AR kykenisi visualisoimaan periaatteessa kaiken tilanteen edellyttämän historiallisen, reaaliaikaisen tai ennustetun tiedon. Haastateltavan mukaan tämä on jo nykyteknologialla mahdollista, mutta vaatii kuitenkin modernia asennuskantaa ja moderneja palvelimia. Lisäksi yritys on suorittanut laajan ERP-toiminnanohjausjärjestelmän päivityksen, jonka seurauksena "digitalisoituminen onnistuu nyt sitten". Tämän lisäksi alusta voi tulevaisuudessa olla avattavissa myös asiakkaiden käyttöön, jolloin siitä voi tulla myös ulkoista arvoa luova tärkeä resurssi.

T4 kertoo myös kehittäneensä alustalleen suosituskonetta, eli tekoälyä, joka kykenee neuvomaan kentällä työskentelevää huoltoteknikkoa koneeseen liittyvistä asioista, kuten aiempia vikoja ja yleisimpiä korjaustoimenpiteitä, sekä tarjota niihin ohjeistuksia. Huoltoteknikot voivat arvioida ohjeiden sopivuutta, minkä seurauksena tekoäly oppii jatkuvasti. Toisaalta huoltoteknikot myös löytävät uusia ratkaisuja ongelmiin, johon tekoäly ei nykymuodossaan kykene. Haastateltava kertoo myös toisesta tekoälyratkaisusta, digitaalisesta avustajasta, joka kykenee etsimään taustajärjestelmästä sopivia ohjeita. K3:n mukaan tekoäly voi yhdessä AR:n avulla tehostaa työntekijöiden tehokkuutta myös esimerkiksi paikantamalla työntekijöiden liikkumista sekä ymmärtämällä aikatauluja ja prosessien etenemisiä. Analysoimalla prosessien tarpeita tekoäly voisi myös ohjata esimerkiksi huoltotyöntekijän kulkemaan tehokkaammassa järjestyksessä tai opastaa fiksuummat toimenpiteet.

Tämän luvun 6.3 ja erityisesti T4:n kuvaileman alustan perusteelta kuvio 3 kuvailee eräänlaisen teknologisen portaikon tai perustan, jossa AR:n arvoa luodaan alhaalta alkaen IT-infrastruktuurista koneiden tuottaman datan lähettämiseen, kerätyn datan hallintaan, hallitun datan hyödyntämiseen, mahdolliseen digitaalisen kaksonen, tekoälyn ja/tai sisäpaikannuksen käyttöön, ja lopulta API-sovellusrajapintojen kehittämiseen ja AR:n tai esimerkiksi VR:n käyttöönottoon. Pilvi on kaikkia vaiheita yhdistävä käsite yleisesti internetin välityksellä tapahtuvaan tiedonsiirtoon. Asiantuntijoiden mielipiteisiin perustuen, digitaalinen kaksonen, tekoäly ja sisäpaikannus eivät ole välttämättömiä AR:n kannalta, mutta tietyissä käyttötapauksissa niille myös nähdään merkittävää lisäarvoa yhdessä AR:n kanssa. Teknologistinen valmiuksien kehittämisen lisäksi tulee muistaa myös organisaationaalisten kyvykkyyksien tärkeys implementoinnissa.



Kuvio 3. Teknologinen perusta ja etenemissuunnitelma AR:n käyttöönotolle

## 6.4 AR:n hyödyt

Tässä luvussa käydään läpi hyödyt, joita haastateltavien kommenttien mukaan AR:n avulla on saavutettavissa. Luku jaetaan viiteen osioon neljän ensimmäisen käsitellessä kirjallisuuskatsauksessa esiteltyjen Gregorin ym. (2006) työn mukaisesti. Ensiksi luvussa 6.4.1 käsitellään kustannus- ja tehokkuushyötyihin keskittyvät transaktiohyödyt, luvussa 6.4.2 tiedon saatavuuteen ja hyödyntämiseen liittyvät informaatiohyödyt, luvussa 6.4.3 kilpailukykyyn ja strategiseen paremmuuteen pyrkivät strategiahyödyt, ja luvussa 6.4.4 organisaation kyvykkyyksiin ja muutosvalmiuteen liittyvät transformaatiohyödyt. Hyötykategoriat pyrkivät kuvaamaan pääasiallista tavoitetta IT-investointille, mutta Gregorin ym. (2006) mukaan investoinnit voivat tavoitella useampaa kategoriaa. Useassa tapauksessa hyödyt ovatkin vahvasti suhteessa toisiinsa. Luku 6.4.5 tiivistää taulukoihin nämä löydökset.

### 6.4.1 Transaktiohyödyt

Kirjallisuuskatsauksessa esiteltyjen Gregorin ym. (2006) tulokset kertoivat, että transaktiohyödyt jäivät vähimmälle arvolle yritysten tavoittelemisissa IT-investointien hyödyissä. Gregorin ym. tuloksiin verrattuna on varsin silmiinpistävä, että haastateltujen yritysten mukaan transaktiohyödyt ovat tärkeimpiä. Esimerkiksi K2:n mukaan teollisuuden IT-investointien keskeisin ajuri ovat kustannushyödyt. Myös K1 nimeää transaktiohyödyt tärkeimmiksi AR:n onnistumisen kriteereiksi. T4 mainitsee tärkeimpänä tavoiteltavana hyötynä toiminnan tehostamisen, johon pyritään laadukkaamman ja nopeamman työtehtävien suorittamisen kautta. T1 kertoo nopeamman ongelmanselvityksen johtavan pienempiin tuotannonmenetyksiin sekä säästöihin huoltoteknikkojen matkustuskuluissa. K4 toteaa, että toiminnan tehostamiseen liittyvät taloudelliset hyödyt ovat tärkeimpiä, sekä lisää, että ne ovat myös vaikeimmin saavutettavissa. Taulukko 8 kuvaa haastatteluissa esiin nousseet transaktiohyödyt, joita haastatellut yritykset ovat kokeneet omissa AR-piloteissaan tai -käyttöönotoissaan. Taulukko sisältää kommentteja vain osalta haastatelluista yrityksistä ja rajallisesta määrästä käytännön kokemusta. Kommunikaatiokustannussäästöihin ja uusien palkkausten välttämiseen liittyviä hyötyjä ei esiintynyt johtuen usean yrityksen AR-käyttöönoton pilottivaiheesta sekä keskustelun fokuoimisesta AR:n käyttöön lattiataason prosesseissa. T4 kuitenkin kertoo tavoitteenaan AR-alustan kehittämiselle sen, että kokematonkin huoltoteknikko kykenisi AR:n avustamana suorittamaan haastavampia työtehtäviä, mikä voi näkyä paitsi nopeampana toimintana, myös henkilöstökuluihin ja palkkausten välttämisiin liittyvinä säästöinä.

### 6.4.2 Informaatiohyödyt

Kuten mainittua, Gregorin ym. (2006) tuloksissa informaatiohyödyt koettiin tärkeimmiksi. K4 pitää informaatiohyötyjä arvokkaina, mutta verrattuna säästö-

ja tehokkuushyötyihin ”ne kuitenkin hautautuu hyvin nopeasti sinne talouden alle” tarkoittaen, että informaatiohyötyjen tulee näkyä myös taloudellisena hyötynä. T1 ei erikseen priorisoi tiettyjä hyötyjä toisten yli, mutta näkee helpon ja nopean pääsyn tietoon johtavan myös tuottavuuden paranemiseen. T4 kertoo, että sen kehittämässä AR-alustassa tiedon hakeminen voi nopeutua yli 30 %. K3 korostaa tiedon helpommin ymmärrettävissä olevaa muotoa nopeamman sisäistämisen ja päätöksenteon tueksi. Lisäksi tieto on saatavissa missä ja milloin tahansa. K1, lisäksi korostaa myös tiedon esittämisen ja ymmärtämisen intuitiivisuutta samassa näkökentässä fyysisten objektien kanssa. Yhteistyötä vaativissa prosesseissa AR-sisällön yhteinen tarkastelu näkyy esimerkiksi nopeampana kommunikointina. Yksi hyöty, joka ei varsinaisesti sovi Gregorin ym. (2005) luokitukseen, on tiedonsyöttämisen nopeus ja tarkkuus, joiden T1 näkee paranevan AR-sovellusten avulla. Myös K3 kertoo, että AR tekee tiedonsyöttämisestä vaivattomampaa paperiin ja kynään tai taulutietokoneeseen verrattuna. Taulukko 9 kokoaa haastatteluissa esiin nousseet informaatiohyödyt, joita haastatellut yritykset ovat kokeneet omissa AR:n käyttöönotoissaan. Taulukko sisältää kommentteja vain osalta haastatelluista yrityksistä ja rajallisesta määrästä käytännön kokemusta. Informaatiohyötyjä esiintyi lähes kaikkien AR-kokemusta omaavien yritysten kommentteissa, ja taulukkoon on kirjattuna niistä keskeisimmät. Aineistossa ei ollut mainintoja informaation käytöstä strategisessa suunnittelussa. T4 kuitenkin kertoo pyrkimyksestä yhdistää prosessi-, ennuste- ja simulaatiodata, jolla tavallinen työntekijäkin voi tehdä parempia valintoja tuotantolinjalla.

### 6.4.3 Strategiahyödyt

K4 kommentoi, että AR:n avulla voidaan saavuttaa kilpailuetua, esimerkiksi käytettäessä AR:ää suunnittelussa tai tuotteiden demonstroimisessa. Tämän lisäksi prosessien tehostaminen voi antaa strategista etua. K1:n mukaan organisaatiotason 3D-kyvykkyydet ovat ”vielä tutkimaton ympäristö liiketoiminnan maailmassa”, jossa 3D-mallit tulee ymmärtää strategisina resursseina, jotka AR tuo saataville missä tahansa tilanteessa. Haastateltava näkee, että AR:n kyky visualisoida suuria tietomääriä suodatettuna ja helposti ymmärrettävänä voi tehdä sen roolista tärkeän myös päätöksenteossa. T1 puolestaan korostaa, että AR-etätuen avulla se voi hyödyntää verkostoaan paremmin, kun asiantuntijoihin saadaan yhteys helposti ja nopeasti. Taulukko 10 kuvaa haastatteluissa esiin nousseet strategiahyödyt, joita haastatellut yritykset ovat kokeneet omissa AR:n käyttöönotoissaan. Taulukko sisältää kommentteja vain osalta haastatelluista yrityksistä ja rajallisesta määrästä käytännön kokemusta. Strategiahyötyjä esiintyi hyvin vähän yritysten kuvailuissa AR:n käytöstä omassa toiminnassaan. T4 ja K1 kuitenkin huomauttivat, että AR:n kyky prosessien parantamiseen tulee näkymään myös laadun ja toimintatapojen parantumisessa, minkä seurauksena myös asiakastyytyväisyyden oletetaan nousevan. K1 ja T3 myös mainitsee teollisuuden siirtymisen palveluliiketoimintaa kohti, jossa AR-ohjeistuksella ja etätuella voi olla mahdollisuus tarjota uusia palveluita.



#### 6.4.4 Transformaatiohyödyt

Transformatiivisista hyödyistä keskeisimmiksi nousivat koulutukseen ja taitotasoon liittyvät hyödyt. T1 katsoo, että AR:n avulla yrityksen osaaminen kasvaa, sekä sen prosesseista tulee turvallisempia. T5 kertoo, että AR voi nopeuttaa ja parantaa oppimiskokemuksia, mikä näkyy myöhemmin parempana suoriutumisenä työtehtävissä. T4:n mukaan koulutuksessa AR:n kyky tukea näkömuistiin perustuvaa oppimista voi parantaa koulutuksen lopputulosta jopa 50–60 %. K3 täydentää, että AR-informaation avulla prosesseissa tehdään vähemmän virheitä. K1:n mukaan ”virheiden välttäminen on varmasti teollisessa ympäristössä yksi kaikkein merkityksellisimmistä [hyödyistä]”. Virheiden välttämisen myötä prosesseista tulee turvallisempia ja laadukkaampia. Työntekijöiden motivaation kohottamiseen liittyviä hyötyjä ei ole käsiteltyä Gregorin ym. (2006) hyötyluokituksessa, mutta useampi haastateltava nosti esille huomion AR:n kyvystä tehdä työstä miellyttävämpää, sekä sen potentiaalista houkutella uusia työntekijöitä. Liiketoimintamallien osalta esimerkiksi T3 kuvaili yrityksensä harkinnan AR-avusteisen etätuen tarjoamista asiakkaille. Myös laitteisiin valmiiksi tuotettavat AR-ohjeistukset nähtiin yhtenä mahdollisena uutena liiketoimintana, mutta niiden tapauksessa AR ei muuta valmistavan yrityksen lattiatasoisen prosesseja muuten kuin korkeintaan pienempänä tarpeena huoltohenkilöstölle. Taulukko 11 kuvaa haastatteluissa esiin nousseet transformaatiohyödyt, joita haastatellut yritykset ovat kokeneet omissa AR-hankkeissaan. Taulukko sisältää kommentteja vain osalta haastatelluista yrityksistä ja rajallisesta määrästä käytännön kokemusta.

#### 6.4.5 Koetut hyödyt taulukoituna

Alla olevat taulukot 8, 9, 10 ja 11 kokoavat yhteen yritysten AR-hankkeissa kokemat hyödyt eri hyötykategorioihin lajiteltuina.

Taulukko 8. Haastateltujen yritysten kokemat transaktiohyödyt

Transaktiohyödyt	KÄYTTÖKOHDDE, Koettu hyöty, (Haastateltava)
Säästöt toimitusketjun hallinnassa	VARASTONHALLINTA: Varaosien nopeampi paikantaminen (T4, kehitysvaiheessa)
Operatiivisten kulujen laskeminen	ETÄTUKI: Pienemmät matkustuskulut ja tuotannonmenetykset (T1)
Kommunikaatiokustannusten laskeminen	
Uusien palkkausten välttäminen	
Investoinnin tuoton kasvattaminen	YLEISESTI: Kustannussäästöt + tuottavuusparannukset -> investoinnin tuotto
Työntekijöiden tuottavuuden parantaminen	YLEISESTI: Nopeampi tiedonsaanti -> Nopeampi suoriutuminen (K3)
	ETÄTUKI: Nopeampi ongelmanselvitys (T1)

Taulukko 9. Haastateltujen yritysten kokemat informaatiohyödyt

Informaatiohyödyt	KÄYTTÖKOHDDE, Koettu hyöty, (Haastateltava)
Nopeampi pääsy informaatioon	AR-ALUSTA: Kymmeniä prosentteja nopeampi tiedon hakeminen (T4, kehitysvaiheessa) ETÄTUKI: Tiedon saaminen nopeaa (T1)
Helpompi pääsy informaatioon	AR-OHJEISTUS: Tarjottava informaatio korjattavaan laitteeseen relevanttia (T5) ETÄTUKI: Helpompi pääsy tietoon esimerkiksi kentällä (T1)
Parempi informaatio strategiseen suunnitteluun	
Parempi informaation tarkkuus	HUOLTO/VALVONTA: Tuotantokoneen reaaliaikaisen datan visualisointi (K3)
Informaation tarjoaminen paremmissa muodoissa	YLEISESTI: AR-informaatio intuitiivisempi ymmärtää kuin manuaali/diaesitys (K3 ja T2)
MUITA: Laadukkaampi informaation keruu	YLEISESTI: Nopeampaa ja vähemmän vaivaa syöttää dataa (K3 ja T1)

Taulukko 10. Haastateltujen yritysten kokemat strategiahyödyt

Strategiahyödyt	KÄYTTÖKOHDDE, Koettu hyöty, (Haastateltava)
Kilpailuedun luominen	Mahdollista, mikäli kustannus- ja tuottavuushyödyt realisoituvat
ICT-strategian ja liiketoimintastrategian yhteensovittaminen	
Hyödyllisten linkkien muodostaminen toisten org. kanssa	ETÄTUKI: Parempi yhteistyö omien ja ulkoisten asiantuntijoiden kanssa (T1)
Nopeamman muutokseen reagoinnin mahdollistaminen	ETÄTUKI: Nopeampaa reagointia ongelmatilanteisiin (T1)
Asiakassuhteiden parantaminen	
Parempien tuotteiden ja palveluiden tarjoaminen asiakkaille	

Taulukko 11. Haastateltujen yritysten kokemat transformaatiohyödyt

Transformaatiohyödyt	KÄYTTÖKOHDDE, Koettu hyöty, (Haastateltava)
Korkeampi taitotaso työntekijöille	XR-TEKNOLOGIAT KOULUTUKSESSA: Nopeampi perehdytys, parempi muistijälki (T5)
Uusien liiketoimintasuunnitelmien kehittäminen	ETÄTUKI: Asiakas voi ottaa yhteyttä ja saada apua (T3) AR-OHJEISTUS: Valmiit AR-ohjeet asiakkaalle (K1)
Organisaation kyvykkyyksien laajentaminen	
Liiketoimintamallien parantaminen	
Organisaation rakenteiden/prosessien parantaminen	AR-OHJEISTUS: Työtehtävien standardimainen suorittaminen, vähemmän virheitä (K3)
MUITA: Korkeampi motivaatio / sitoutuminen	YLEISESTI: Uusi teknologia voi motivoida työntekijöitä tai tehdä työstä mielisää (K3)

## 6.5 Implementointi

Viimeinen käsiteltävä aihe analyysissa on ymmärtää yritysten prosessia AR:n arvioinnista aina yleisen käytön vakiintumiseen. Tämän aineiston rajoituksena tässäkin osiossa on kuitenkin pitkälti pelkkiin pilottihankkeisiin rajoittuva käytännön kokemus. Tästä huolimatta, haastateltavat ovat niin AR:n kuin teollisuuden asiantuntijoita, joilla on näkemyksiä AR:n tulevaisuuteen ja sen implementointiin yleisesti teollisuuden tasolla tai omassa toiminnassaan. Luku 6.6.1 käsittelee AR:ään liittyvää investointipäätöksentekoa, 6.6.2 ohjelmistojen ja sisältöjen kehittämistä, 6.6.3 kehitettyjen AR-järjestelmien konfigurointia yrityksen käyttöön, 6.6.4 organisaatiolta tarvittavia kyvykkyyksiä ja muutoksia yhteensopivuuden takaamiseksi, ja lopulta 6.6.5 käyttäjähyväksynnän saavuttamista.

### 6.5.1 Investoinnit AR:ään

#### *AR:n yleistyminen*

Kuten todettua, yritykset ovat osin vaitonaisia AR-kehityksestään. Esimerkiksi K2 kertoo vain julkisesti saatavilla olevista hankkeistaan. K4 uskoo, että Suomessa suuremmilla kehitysbudjeteilla toimivat suuret teollisuusyritykset ovat jo "kokeilleet vähän kaikkea", mutta näistä tuloksista ei hänen mukaansa haluta kertoa ulospäin, koska ne saattavat mahdollistaa tulevaisuuden kilpailuetua. K3 kertoo, että sillä on "paljon salassapitosopimuksia [asiakkaiden] kanssa, mitkä estävät jakamasta muille löydöksistä tai hyödyistä, joita he ovat saaneet". Hänen mukaansa ensimmäisten joukossa AR:ää käyttöön ottavat yritykset ovat mielellään hiljaa tuottavuuden parannuksistaan, kun muut vielä tutkivat sen hyötyjä.

Kysyttäessä niin sanotusta edelläkävijäasemasta, T5 kertoo, että se on toiminut jo pitkään AR:n parissa messudemoja ja erilaisia kokeiluja tehdessään. Haastateltava haluaa kuitenkin huomauttaa, että laajan mittakaavan implementointia sekään ei ole vielä tehnyt. Kokeilut ovat kuitenkin auttaneet tunnistamaan alueita, joilla AR pystyy tuottamaan arvoa heidänkin toiminnassaan. K4:n mielestä vasta aika tulee näyttämään, ovatko yritysten AR:ään laittamat investoinnit panostustensa arvoisia. T3 kertoo seuraavansa aktiivisesti kilpailijoiden toimintaa, ja usein myös keskustelevan tietyistä ongelmista kilpailijoidensa kanssa, vaikkei kaikkia salaisuuksia jaeta. Tämä auttaa yritystä positioimaan itsensä, kun voi verrata kilpailijoihin. T1 kertoi kokevansa, että heidän asemassansa on parempi seurata sivusta AR:n kehitystä, ja poimia siten käyttökohteita, joissa AR on osoittanut hyödyllisyyttä. T6 kertoo, että tällä hetkellä yrityksellä on meneillään mittavat investoinnit uuden tehtaan rakentamiseen ja uuteen ERP-järjestelmään, jonka takia se ei ole aikeissa panostaa resursseja edelläkävijän aseman tavoitteluun AR-asioissa.

T3 kertoo, että esimerkiksi markkinoinnin ja myynnin tukena AR on helpompi saada implementoitua, koska tällöin tulokset ovat suoraan nähtävissä

myyntiluvuissa. Haastateltava kertoo, että häntä itseään ei enää tarvitse vakuuttaa AR:n hyödyistä, mutta johdolle esitellessä, kysymykseksi tulee hyödyt ja kustannukset numeroina. T4 kertoo, että AR on helpoin "myydä" yrityksen päättäjille aluksi koulutuskäyttöön, jossa informaation sisäistäminen on nopeutta tärkeämpi tavoite. K3 kertoo usein lupaavansa asiakkailleen, että sen AR-ohjelmistot voivat tehokkuushyötyjen myötä maksaa itsensä takaisin vuoden sisällä investoinnista. Haastateltava lisää, että toisinaan tämä tapahtuu jo kuukausissa. Toki rahallisten hyötyjen realisoituminen vaatii valmiudet AR:n käyttöönotolle, joita kaikissa yrityksissä ei ole esimerkiksi tuotantokoneiden ja ERP-järjestelmien integroitavuuden takia, mutta on silti yllättävää, että 11 haastateltavasta vain yksi raportoi konkreettisia taloudellisia etuja muiden yhä kehittäessä valmiuksiaan tai seurattessa markkinan muutoksia. K3:n kansainvälinen asiakaskunta voi olla yksi selittävä tekijä tähän.

AR:llä on lukuisia kirjallisuuskatsauksessakin esiteltyjä käyttötapoja. K3 näkee, että AR:n mahdollisuudet tiedon tarjoamiselle ja aistien vahvistamiselle ovat käytännössä rajattomat. Kaikki eivät kuitenkaan ole yhtä vakuuttuneita AR:n mahdollisuuksista vielä. K2 toteaa, että AR:n luoman arvon arviointi on usein haastavaa investointipäätöstä tehdessä, ja yritykset äänestävät "ei jatkokon", jos ne eivät kykene tunnistamaan lyhyellä aikavälillä tuotettavissa olevaa lisäarvoa. K4 mukailee tätä toteamalla, että AR-ratkaisuja on vaikea saada myytyä pienille tai keskisuurille teollisuusyrityksille, koska AR "ei suoraan auta siinä rahan hankkimisessa". Lisäarvo pitäisi pystyä perustelevaan ja näyttämään erittäin hyvin, että teollisuusyritykset lähtisivät muokkaamaan toimintaansa. Esimerkiksi T6 kertoo, että sillä on SAP:n mobiilisovelluksen kautta saatavissa huollettavan koneen huoltotiedot. AR-investoinnin perustelemiseksi ei riitä, että AR tarjoaa saman pääsyn samoihin tietoihin, vaan sen pitää selvästi kyetä nopeuttamaan tiedonsaantia ja -hyödyntämistä.

Oli kyse minkä tahansa teknologian käyttöönotosta, K2 korostaa kontekstin merkitystä arvon luomisessa, jotta se todella ratkaisee jonkin asiakkaan tarpeen tai ongelman. T1:n kuvailemassa käyttötapauksessa AR-etäasiantuntijapalvelu otettiin käyttöön koronapandemian alkuvaiheissa, kun koneen vaihteiston asentamisen ajaksi toimittajan huoltoteknikon olisi tullut matkustaa ulkomailta Suomeen, mikä olisi tarkoittanut kahden viikon karanteenia hotellissa. Kulujen välttämiseksi toimittaja ehdotti kokeilla AR-etätukea, jonka avulla saatiin välittömiä kustannussäästöjä vältettyjen matkustuskulujen ja tuotannon nopeamman käyttöön saattamisen ansiosta. Kaikissa tapauksissa hyödyt eivät ole yhtä selvästi osoitettavissa. Myös T3 kertoo, että AR oli puheenaihe yrityksessä pandemian alkuvaiheissa juuri edellä mainitusta syystä, mutta etätuki-sovelluksen huolellinen implementointi olisi vaatinut liikaa resursseja sovelluksen integrointiin taustajärjestelmiin ja liiketoimintaan. Nyt haastateltava näkee AR:n olevan taas matalalla yrityksen omien prioriteettien listalla. T1:n tapauksessa kokeilu jäi yksittäistapaukseksi, mutta haastateltava kertoo yhä yrityksen kiinnostuksesta AR:ää kohtaan.

Osa vastaajista kokee, että AR on tietyllä tapaa jo menettänyt "hopen", jota sillä oli vielä muutama vuosi sitten. K5 kertoo, että hänen mielestään "AR

oli siellä aallonharjalla, ja [...] ei ole sillä tavalla lähtenyt liikkeelle”. K4 kertoo AR-ratkaisujen myymisen vaikeudesta, että teollisuudessa on harvemmissa määrin niitä, joilla on tahto ja kyvykyys muuttaa toimintaa ja ottaa käyttöön uutta teknologiaa. K5 kertoo, että silläkin olisi jo valmiudet tuottaa AR-ratkaisuja, mutta kyse on ennemminkin asiakkaiden epävarmuudesta AR:ää kohtaan. Haastateltavan mukaan tähän tarvittaisiin riittävästi referenssejä vakuutukseksi seuraaville, mutta kuten todettua, AR:ää hyödyntävät yritykset eivät tunnu olevan erityisen halukkaita antamaan referenssejä onnistumisistaan AR:n saralla.

T2 kertoo, että hänen edustamassa yrityksessä on ollut puhetta AR-hankkeista, mutta tähän saakka todellisia toimenpiteitä ei olla tehty sen käyttöönottamiseksi. Suurin syy tähän ovat kömpelöt AR-lasit, joiden laatu ja käytettävyyys eivät ole vielä riittävällä tasolla. T4:n mielestä AR-lasien yleistyminen tehtaissa tulee tapahtumaan vasta kun ne alkavat yleistyä kuluttajienkin arjessa, sillä ”teollisuus on aika konservatiivista”. Toinen merkittävä kehityskohta on ohjelmistojen kehittyminen. AR:n käyttöä jo pitkään tutkinut T5 arvioi, että ohjeistavien ja interaktiivisten AR-ohjelmistojen yleistymiseen tulee menemään vielä vuosia. Haastateltava jatkaa, että ”kolme vuotta on niin lyhyt aika, että se muuttaisi ihan radikaalisti toimintaa”.

T5 suosittelee, että AR-käyttöönnotot suunniteltaisiin käyttötapauskohtaisesti, eli miettimällä miten AR soveltuisi mihinkin prosessiin. K1 toistaa samaa, että teknologiaa ei pidä ottaa käyttöön ilman selkeästi määriteltäviä käyttökohteita. T6 puolestaan kertoo, että hänen toimintamalliinsa kuuluu jatkuvasti seurata markkinaa, keskustella ratkaisuisista toimittajien kanssa, ja luoda parhaista käyttökohdetapauksista käytänteitä, jotka ”jalkautetaan sitten yritysalaajuisesti”. Tämä tukee myös aiempaa T3:n sanomaa, että AR ei saa olla ratkaisu vain yhteen kohteeseen, vaan sen tulee tarjota kokonaisvaltainen ratkaisu, joka on implementoitavissa laajassa mittakaavassa. K2:n mukaan järjestelmien pilotoiminen on helppoa, mutta käytännön arvon luomisessa on vielä matkaa. Myös K4 näkee, että AR:n käyttöönotto lattiatasolla on vielä korkean kynnyksen takana, sillä ”tuotanto on aika lailla pyhä, [...] se on kuitenkin se mikä tuo rahan pöytään”. Mikäli tuotantoon tuodaan uutta teknologiaa, sen on toimittava kunnolla ja tultava aidosti jatkuvaan käyttöön.

### *Muiden investointien priorisointi*

Kysyttäessä AR:n suhteesta muihin Industry 4.0-teknologioihin, vastaus oli poikkeuksetta, että kyse on symbioottisesta kokonaisuudesta, jossa kukin teknologia tuo omanlaistaan lisäarvoa. T5 kommentoi, että AR ei ole yksistään hyödyllinen, vaan kyse ekosysteemistä, joka koostuu useasta palasta. K3 sanoo, että vielä tämä ei käytännössä toteudu, mutta ”kyse on vain ajasta ja tarpeesta”. T4:n mukaan ensin luodaan perusautomaatio, josta tehdään raportoinnit taustajärjestelmiin, ja tämän jälkeen siirrytään datankeruuseen ja pilvipalveluihin, joiden jälkeen vasta päästään hyödyntämään dataa toden

teolla AR:n kaltaisissa sovelluksissa. Myös T5 lisää, että moni Industry 4.0-teknologioista on perusedellytyksiä yrityksen liiketoiminnalle, esimerkiksi tietoturva ja tuotantokoneet, josta voi tulkita, että AR:n yleistymisen tulee kenties Industry 4.0-teknologioiden häntäpäässä.

K2 kertoo, että tällä hetkellä teollisuusyrityksillä on käynnissä laajalti erilaisia datankeruu- ja esineiden internet -hankkeita. T3 antoi luvussa 6.3.3 esitellyn käytännön esimerkin pyrkimyksistään yhdistää AWS-pilvitietokannat ja sen jälkeen alkavansa suunnitella datan keräämistä asiakkaille myydyistä koneistaan. Haastateltavan mukaan AR tulee vasta myöhemmin tässä jatkumossa. Hän lisää, että AR:ää on kokeiltu yrityksessä aiemmin tiettyihin yksittäistarpeisiin, mutta siitä ei olla saatu kokonaisvaltaista ratkaisua laajempaan sisäiseen käyttöön tai liiketoimintamalliksi, joten suunnitelmista on luovuttu.

K2:n mielestä AR ei ole teollisuusyritysten pääprioriteettien joukossa teknologiainvestoinneissa, vaan teollisuudessa on paljon muutakin mitä halutaan parantaa. Verrattuna esimerkiksi virtuaalisiin koulutussimulaattoreihin, joilla työntekijöitä voidaan kouluttaa jo etukäteen uuden tehtaan pohjapiirroksen ja koneiden käyttöön, hän toteaa, että uuden tehtaan investointipäätöksenteossa tehtaan nopeampi toimintaan saattaminen koulutussimulaattorin mahdollistaman ennakkoperehdytyksen avulla merkkää AR:n kaltaista teknologiaa enemmän. K4 näkee niin ikään, että AR:n yleistymisen teollisuudessa on kauempana VR:ään ja digitaaliseen kaksoseen verrattuna. Myös esimerkiksi logistiikassa, kuten todettua, varastotoiminnan automatisointi vaikuttaa haastattelujen perusteella olevan AR:ää houkuttelevampi ratkaisu.

T4 korostaa ”digitaalista selkärankaa”, jolla mahdollistetaan tehokkaampi toiminta. Tästä syystä sen fokus on taustajärjestelmien ja IT-arkkitehtuurien kehittämisessä ja sen optimoimisessa mahdollisesti tekoälyn avulla. Tässä kokonaisuudessa AR on hänen mukaansa vain käyttöliittymä. Myös T6 kuvailee fokuksen olevan tuotantokriittisissä investoinneissa, jolloin hänen tituleeraamansa ”kiva-tietää, kiva-omistaa”-teknologiat, kuten AR, jäävät vähemmälle painoarvolle. Myös K2:n mielestä perustojen täytyy olla kunnossa, ja vasta lopuksi tulee AR, joka tukee muista teknologioista saatavissa olevaa hyötyä. Hän kiteyttääkin, että AR ”on ikään kuin kirsikka kakun päälle, mutta jos sitä kakkua ei ole tehty, ei kirsikkaa voi sinne laittaa”. T6 käyttää pitkälti samanlaista kakkumetaforaa.

T3 lisää, että muiden teknologioiden lisäksi teollisuuden intresseissä on juuri nyt ympäristövastuullisuutta parantava innovointi. K5 kertoo huomanneensa saman ilmiön asiakkaidensa kanssa, että niin pienillä kuin suurilla yrityksillä on pyrkimys ympäristöystävällisempään toimintaan. Haastateltavan mukaan ”tuntuu siltä, [...] että ne vihreät arvot on se, mikä ajaa firmoja paljon eteenpäin”.

AR-investointeihin vaikuttaa myös koronapandemia. K4 kertoo, että pandemian alkaessa keväällä 2020 teollisuusyritykset, ”tai sanotaan 95 % yrityksistä”, laittoivat investoinnit tauolle, kun koronatilanteen kehityksestä oli

suurta epäselvyyttä. Pandemian alkupaniikin jälkeen AR-investoinnit ovat kuitenkin kiihtyneet haastateltavan mukaan. T4 puolestaan kertoo, että koronapandemia on hieman hidastanut kehitystä, kun esimerkiksi erinäisille messuille kehitettävien demojen tarve on pysähtynyt eikä palannut aiemmalle tasolle. Haastateltava kertoo, että ”messut on ollut kuitenkin sellaisia, missä se ’Vau’-efekti on pitänyt saada aikaan”. Yksi syy näkemysten eroavuudelle voi olla, että K4 kehittää pääasiassa mobiililaitteille markkinointiin tarkoitettuja AR-sovelluksia, joiden hyödyllisyys kasvaa, kun ihmiset eivät pääse tai halua mennä kivijalkamyymälöihin katsomaan tuotteita. Aiemmin mainitut esimerkit etätuen käyttöäotosta tai sen harkitsemisesta matkustusrajoitusten takia ovat niin ikään esimerkkejä koronan vaikutuksista.

K5 nimeää koronan suureksi sivuvaikutukseksi myös käynnissä olevan komponenttipulan. T4 kertoo, että toimitusvaikeuksien takia komponenttipula hidastaa ainakin VR-alaa vuoden tai kaksi, oletettavasti AR:ää niin ikään. Lisäksi usea yritys kertoo, että komponenttipulalla on ollut yleisesti suuria vaikutuksia liiketoimintaan. K5 arvioi pandemian vaikutuksia, että ”joissain asioissa on vienyt eteenpäin, ja joissain mietitään, että tehdään sitten kun aika normalisoituu”. K3 ei osannut arvioida vaikuttiko pandemia positiivisesti vai negatiivisesti, mutta toteaa, että AR-markkina tarvitsee yhä paljon investointeja yleistyäkseen.

## 6.5.2 Konfigurointi

Lähes kaikki haastatellut AR:ää kehittävät teollisuusyritykset kertovat kehittävänsä AR-ohjelmistoja ulkoisen kumppanin kanssa. K4 kertoo, että suurillakin toimijoilla on usein eräänlaisia ”hovihankkijoita”. T5 kertoo näkemyksensä, että suomalaisissa teollisuusyrityksistä ei luultavasti ole vielä juurikaan AR-suunnittelijoita. T2 perustelee, että ulkoisen kumppanin kehittäessä koulutussovellusta sen ei itse tarvitse hankkia kyvykkyksiä kehittämiseen, vaan yrityksen rooliksi jää testata ja antaa palautetta. Esimerkiksi T3 kertoo, että sen kehitteillä olevien koulutussovellusten kehittämiseen yrityksellä itsellään ei ole osaamista vielä tällä hetkellä, joten kehitys tapahtuu ulkoisen kumppanin kanssa. Myös pidemmällä AR-hankkeissaan oleva T4 kehittää sovelluksiaan alihankkijan kanssa, mutta esimerkiksi tekoälyä kehitetään organisaation sisäisesti, sillä se vaatii tuote- ja prosessitietämystä, mitä ei myöskään mieluusti jaeta ulospäin.

T3 kertoo, että AR on yhä hyvin spesifi teknologia, joka vaatii ohjelmointiosaamista, josta Suomessa on dokumentoidusti suuri pula. T5 toteaa, että Unityn ja Unrealin pelimoottoreihin liittyvää osaamista yrityksissä on vielä nykyään harvoin palkattuna vahvistaen teoriassa ilmennyt tietoa. T3 lisää, että usein kehitys tapahtuu ulkoisten kumppaneiden kanssa myös siksi, että perinteiset teollisuusyhtiöt eivät ennen ole olleet ohjelmistokehityksessä. Tuolloin ohjelmistohankkeet päättyivät alihankkijoille, kun omia yksiköjä ei ollut olemassa tai perustettavissa nopeasti. T3 kuitenkin kertoo yrityksensä olevan kasvattamassa kyvykkyksiään, mutta tällaisten rakenteiden

kehittäminen vaatii aikaansa. Haastateltavan mukaan yritys haluaa kasvattaa kyvykkyyksiään organisaation rekrytoimien eikä esimerkiksi yritysohjelmien avulla.

T5:n mukaan AR-markkina muuttuu nopeasti, ja sekä sovellus- että laitepuolella yrityksiä kaatuu ja syntyy nopeasti. IT- ja konsulttipuolen haastateltavista K1 kertoo, että markkinoilla on jo olemassa tiettyjä valmisratkaisuja, joten sen strateginen lähestymiskulma on pikemminkin tunnistaa yksittäisiä asiakastarpeita, ja pyrkiä tarjoamaan eräänlaisia täsmäratkaisuja niihin. K3 kertoo, että kaksi sen kilpailijaa on ostettu suurempien yritysten toimesta lyhyessä ajassa. K4 huomauttaa, että yritykset kuitenkin kehittävät pitkälti samoja toiminnollisuuksia omaavia AR-ohjelmistoja pelkästään omaan käyttöön, ja toteaa, että ”aika korniahan se on, että isolla rahalla teetätetään käytännössä ihan samaa asiaa”. T5:n mukaan olemassa on jo tiettyjä markkinoilta saatavissa olevia ohjelmistoratkaisuja ja -alustoja, mutta jos niiden toiminnollisuudet eivät riitä, joudutaan niitä jatkokehittämään ulkoisten kumppanien kanssa. Tämän lisäksi T4:n mukaan markkinoilla olevien valmiiden ratkaisujen sovittaminen omiin taustajärjestelmiin on haaste. K4 korostaa ohjelmistojen alustariippumattomuutta, jotta kehitetty sovellus toimisi eri AR-laitteissa.

Kuten sekä teoriassa että luvussa 6.2 todettiin, visualisoivista AR-ohjelmistoista erityisesti etätukiohjelmistot ovat alkaneet yleistyä. T5 uskoo Microsoft Teamsin kaltaisten videopalaveriohjelmistojen intresseissä olevan niin ikään lisätä mahdollisuuksia etätuen antamiseen esimerkiksi AR-elementtien avulla. T6 taas näkisi omassa toiminnassaan arvoa huoltosuunnitelmien luontevampaan visualisointiin, kun tällä hetkellä niiden käsittely tapahtuu ERP:n lukuisten valikkojen kautta mobiililaitteilla. T4 kuvailee nykyisiä AR-sovelluksia erittäin yksinkertaisina, että ”niissä vaan näytetään jotain dataa”. Myös T5:n mukaan AR-ohjelmistot ovat vielä pitkälti visualisointitasolla, eli ohjeistavia ja interaktiivisia järjestelmiä on vain yksittäisinä poikkeustapauksina. Lisäksi T3 peräänkuuluttaa kehittyneempiä ratkaisuja, jotka osaisivat tiedon näyttämisen lisäksi ohjeistaa käyttäjää.

K1:n mielestä huollettavan kohteen tunnistavat järjestelmät ovat askel, joka voisi olla pian saavutettavissa. Tunnistuksen avulla järjestelmä kykenisi visualisoimaan tunnistetun laitteen tietoja ja ohjeita. Ohjeistaviin järjestelmiin liittyen T4 näkee huolto-ohjeistusten sisällöntuotannon automatisoinnin mielenkiintoisena tavoitteena, erityisesti harvoin huollettavissa kohteissa, joista huoltoteknikoilla ei ole säännöllisen huoltamisen tuomaa näppituntumaa. Yksikään haastateltava teollisuusyritys ei kertonut hyödyntävänsä tai kokeilleensa virtuaalisia käyttöliittymiä koneiden hallintaan, mutta kuten todettua, AR-kehitysohjelmistoa kehittävä K3 kertoo tarjoavansa tällaista mahdollisuutta jo palveluvalikoimassaan. Järjestelmä luo käyttäjän näkymään painikkeet ja valikot, joiden avulla käyttäjä voi nähdä ja valita haluamansa toiminnot AR-järjestelmän tunnistuessa käyttäjän liikkeet ja valinnat.

T4 kertoo, että ohjelmistotyökalut AR-järjestelmien kehittämiseen paranevat jatkuvasti, ja samalla teknologista osaamista tulee yhä enemmän AR-alalle. Lisäksi laitteistokehittäjän sovelluskehitystyökalut kehittyvät jatkuvasti.



Haastateltava kuitenkin jatkaa, että esimerkiksi VR-koulutusmateriaalien tuottaminen, riippuen halutuista toiminnallisuuksista ja laadusta, on hyvin hintavaa ja vaatii erikoisosaamista. Lisäksi 3D-mallien päivittämisen tulee olla säännöllistä. AR-koulutusmateriaalit ovat usein niin ikään 3D-sisältöä. T4:n mukaan sovellusten tulisi olla riittävän paljon käytettyjä, jotta ne maksaisivat itsensä takaisin hyötyjen muodossa.

3D-osaaminen on vahvasti AR-ohjelmistokehityksen keskiössä. K1 kertoo lähteneensä kehittämään XR-ratkaisuun 3D-kyvykkyyksien kautta. Insinöörien kehittämien CAD-mallien pohjalta se luo esimerkiksi Unityn Pixyz-ohjelmiston avulla kevennettyjä, optimoituja malleja, joiden varaan on pelimoottorien avulla luotavissa erinäisiä XR-sovelluksia. Tämän myötä, AR:n avulla, mallit olisivat saatavissa kentälle esimerkiksi suunnittelun tueksi. Haastateltava näkee, että 3D-kevennysprosesseissa on kuitenkin vielä paljon kehitettävää, kuten AR:n yleisten toimintatapojen kehittämisessäkin. Esimerkkinä K1 mainitsee, että pelkästään tiedostojen nimeämiskäytännöt voivat asettaa ongelmia siirrettäessä ohjelmistosta toiseen. Myös T5 mainitsee kehityskohdaksi paremmat tai automatisoidut sisällöntuotantoputket, joissa CAD-mallit voitaisi vaivattomasti keventää AR:ssä reaaliajassa sulavasti pyöriksi 3D-malleiksi, että sisällöt saadaan ”helposti ja ilman lisätyötä [AR]-laseille käyttökelpoiseen muotoon”.

AR:ään perustuvaan dokumentaatioon tarvitaan niin ikään 3D-kyvykkyyksiä. T5 pohtii teollisuusyrityksiin liittyen: ”rakennetaanko vaikka teknistä dokumentaatiota AR- tai VR-optimoidusti... luulenpa, että ei”. Tässä voisi olla tulevaisuudessa mielenkiintoinen muutos markkinadynamiikkaan, mikäli valmistajat alkavat itse tuottaa AR-ohjeistuksia, joita asiakkaan oma AR-laite pystyisi hyödyntämään. T3 ja K1 kuvailevat, että teollisuudessa siirrytäänkin tuotemyynnistä jatkuvasti kohti palvelumyyntiä tarkoittaen muun muassa huoltopalveluita, laitteiden vuokraamista ja leasingia. K1 näkee, että ”fokusoimiseen painostavat markkinat kyllä puskevat AR-palvelut laitevalmistajalle”, mutta epäilee, että ainakin Suomessa tämä voi myös aiheuttaa vastustusta asiakkaissa, jotka haluavat itse hallita koneitaan. Esimerkiksi T6 suhtautuu kriittisesti ajatukseen valmistajien luomista huolto-ohjeista, ja toteaa, että ainakin edustamallaan toimialalla koneet huolletaan yleensä itse asiakkaan toimesta, koska vain heillä on kokemus niiden käytöstä ja huoltamisesta. Haastateltavan mukaan valmistajan tuottamat ohjeet ovat lähinnä perusta, joita on räätälöitävä omaan käyttöön. T6 lisää, että ”laitevalmistajathan pyrkivät aina ylihuoltamaan [ja] turvaamaan sen [jälkimyynti]-markkinan”, jolloin asiakkaan kustannukset nousisivat. Toisaalta tiettyjä huolto- ja asennustoimenpiteitä tehdään takuusyistä valmistajien ohjeistamana ja valvomana, kuten T1:n antamassa vaihteiston asennustehtävässä, ja ainakin tällaisissa tilanteissa AR-ohjeistus olisi standardoitavissa.

AR:n vaikutuksia dokumentaation laatuun käsiteltiin kirjallisuuskatsauksessa. T1 kertoo, että tällä hetkellä sen dokumentaatio on hajallaan eri järjestelmissä, ja niiden yhdistämisessä on suuri haaste. K2 kertoo,

että yhä tänä päivänäkin suurissa tehdastoimituksissa toimitetaan paljon dokumentaatiota paperimuodossa kansioissa. T6 kuvailee, että Suomessa ja teollisuudessa on tämän lisäksi valtava haaste osaamisen siirtämisessä kokeneilta asentajilta ja koneenhoitajilta muille. Tähän tarpeeseen vaikuttaa etenkin teollisuuden alan ikärakenne, jossa kokeneet osaajat eläköityvät. T6 kuitenkin kuvailee, että AR-dokumentaation tekemiseen on valtava ”pullonkaula”, kunnes tämä dokumentointi kyetään automatisoimaan. Teoriassa käsiteltiin muutamia esimerkkejä ohjeistusten automatisoinnista, mutta niissäkin monesti jäi joko kohteen tunnistaminen, vaiheen todellinen ohjeistaminen tai käyttäjän liikkeiden seuranta uupumaan. T6 näkee silti arvoa sisäisten työprosessien laajempaan standardisointiin, joka AR:n avulla olisi saavutettavissa siten, että järjestelmä ohjeistaa tekemään tietyn prosessin ja sen vaiheet aina samalla tapaa. Toki prosesseja standardisoidaan nyt jo, mutta T6 kertoo usein pohtivansa, että ”miksi me ei varmisteta sitä [tuotantokoneen] starttia samalla tavalla kuin lentokoneen kapteeni tekee, että kaikki on testattu etukäteen; varmistettu, että kaikki toimii.”

### 6.5.3 Organisaation yhteensopivuus

T1 toteaa, että uusien teknologioiden käyttöönottoon, että innovatiivisuutta on löydyttävä muuttuvassa toimintaympäristössä. Myös T2 kertoo, että se haluaa olla kokeilemassa uusia tapoja ja kartoittaa mahdollisuuksista mikä sopisi sen omaan toimintaan. Halu organisaation toiminnan kehittämiseen ja valmius sen muokkaamiseen on transformaation kannalta arvokasta. T3 toteaa kuitenkin, että transformaatiossa johtajia kiinnostaa loppupeleissä vain rahallinen hyöty. Ilman rahallisen hyödyn osoittamista on vaikea saada johtoa kuuntelemaan ehdotuksia. K2:n mukaan yritysten on tärkeää oppia muokkaamaan toimintatapojaan ja kyvykkyyksiään toteuttamaan muutoksia, jolla tarkoitetaan jo aiemmin kirjallisuuskatsauksessa tarkasteltuja organisaationaalisia transformaatiokyvykkyyksiä. Haastateltava kuitenkin lisää, että tämä on usein kyvykkyys, joka organisaatioilta puuttuu, ja joka rajoittaa yrityksiä hyötymästä uusista teknologioista.

T6 kuvaa toimialaansa perinteisenä teollisuudenalana, jossa asiat muuttuvat hitaasti, ja sanoo, että ”ohjaava tekijä on ne liiketoiminnalliset riskit ja voimakas resurssien ohjaus”. Myös T4 toteaa, että yrityksen suuri koko tekee muutoksesta hidasta. K5 kertoo, että ”kuten isot laivatkin kääntyy hitaasti, se on isoilla yrityksillä sama juttu, että organisaatiot ovat kankeita”. Haastateltavan mukaan teollisuudessa usein tehdään asioita niin kuin niitä on aina ennenkin tehty, mikä voi osaltaan selittää sen hidasta muutosta. Kyse on hänen mukaansa laadun ylläpitämisestä: esimerkiksi 3D-printtereiden toiminnasta ja kestävyydestä halutaan olla täysin varmoja ennen kuin laitteistoja aletaan korvata toisilla. Haastateltava lisää, että uuteen teknologiaan investoimatta jättäminen voi kuitenkin näkyä negatiivisesti tulevaisuuden kasvussa.

Yksi teollisuusyritysten haastateltavista kertoo kokevansa, että hänen edustamansa yrityksen täytyisi kehittää täysin uusiksi organisaationaalisia

rakenteitaan alkaen siitä, että joku on vastuussa IT-investoinneista. Hän kertoo avoimesti, että ei tiedä kenelle edes puhua uusista ideoista ja mahdollisuuksista. Olemassa olevissa kanavissa ideat jäävät kasaantumaan ilman, että niitä edistettäisiin. Haastateltava kuvaa koko toimialaansa hyvin perinteiseksi, jossa fokus on myynnissä ja siirtymä kohti IT:n mahdollisuuksia on vielä varhaisessa vaiheessa. Suuressa organisaatiossa tällainen vie kuitenkin aikaa. Eräs toinen haastateltava täydentää, että kun uudet investoinnit ”vaatii taustajärjestelmämuutoksia, niin ne ovat byrokraattisia ja kankeita [projekteja], että tämä on ongelma”.

Teollisuudessa kankeutta aiheuttaa myös tehtaiden valtavat kokonaisuudet. K2 huomauttaa, että tehtaot ovat monesti niin erilaisia, että saman yrityksen sisälläkin voi olla vaikeaa implementoida yhdellä tehtaalla käytettävää teknologiaa toiselle. Eri tehtailla voi myös olla esimerkiksi huollossa eri alihankkijoita. Tällöin tulee kysymykseksi, että kenen vastuu on luoda AR-sisältöjä ja ylläpitää AR-laitteita. T4 kertoo, että sen kehittämässä alustassa sisällön päivittäminen on tehty hyvin yksinkertaiseksi, jotta tavallinen huoltoteknikkokin voi määrittää esimerkiksi dokumentointiin väärin sijoitetun venttiilin oikealle paikalleen. Organisaationaalisiin käytännön tason haasteisiin kommentoiden K2 toteaa, että AR:n laajempimittainen käyttöönotto tuo mukanaan haasteen laitteiden hallinnasta, esimerkiksi ylläpito-osaamisen ja -resurssien, kuten AR-laitteiden lataamisen osalta. T1 pohtii niin ikään laitteiden säilyttämis- ja latauspaikkoihin liittyviä käytännönkysymyksiä sekä lukuisia AR-laitteiden käyttöön liittyviä haasteita, joita esiteltiin aiemmin luvussa 6.2.1.

Yksi haastattelukysymyksistä käsitteli perinteisten teollisuusyritysten alttiutta ja markkinoiden disruptioriskiä uusien tehokkaasti uutta teknologiaa käyttöönettävien teollisuuden toimijoiden osalta. T5 kommentoi, että kasvava riski on olemassa juuri digitaalisen murroksen takia. K5:n mielestä pienillä yrityksillä on mahdollisuus toimia joustavammin, mikä antaa paremmat mahdollisuudet uuden teknologian käyttöönottoon. T3 puolestaan ei näe disruptioriskiä erityisen suurena, sillä pienempien yhtiöiden pitää ensin kyetä todistamaan kyvykkyytensä tuottaa merkittävää lisäarvoa suuriin toimijoihin verrattuna. K1:n mukaan teollisuus on niin pääomaintensiivistä, että pienet toimijat eivät kykene hetkauttamaan suuria toimijoita, jolla on jo miljardeja investoituna tuotantoon. Hänen mukaansa disruptio tuleekin tapahtumaan suurten toimijoiden kesken siten, että yritys, joka onnistuu ensimmäisenä ottamaan uudet teknologiat käyttöön ja muuttamaan toimintaansa teknologioiden hyötyjen valjastamiseksi, tulee parantamaan sekä tuotantotehokkuuttaan että markkinaosuuttaan. K5 lisää, että nykyisin on olemassa myös suuntaus, että suuret perinteiset teollisuusyritykset lähtevät rahoittamaan innovatiivisia startupeja ja näin olemaan niiden toiminnassa mukana.

#### 6.5.4 Käyttäjähvaksyntä

T5 tunnistaa, että tietyt henkilöt ovat selvästi innokkaampia kokeilemaan uutta teknologiaa, kun taas osa työntekijöistä ei ole halunnut kokeilla AR-laseja

ollenkaan. T4 kertoo, että käyttöhalukkuudessa on nähtävissä selvä jakauma iän perusteella: nuoremmat sukupolvet ovat valmiita kokeilemaan AR-laseja, mutta "vanhemmat jampat ei niitä käytä, ei halua laittaa edes päähän". Useampi haastateltava kertoo kokevansa itsestään selvänä, että AR-lasien käyttöönottoon on ainakin jonkinasteista muutosvastarintaa. K1:n mukaan joitakin ihmisiä vain yksinkertaisia ärsyttää herätä töihin, eikä mielenkiintoa uuden teknologian käyttöön ole sen enempää kuin työhönkään. K5 toteaa, että toisia ärsyttää, että pitää muuttaa omia työskentelytapoja. T5 lisää, että kaikkia ihmisiä AR-laitteet eivät miellytä.

T5 kuitenkin epäröi käyttämästä sanaa muutosvastarinta. Useampi haastateltava toteaa uskovansa käyttäjähyväksynnän tapahtuvan kuluttajamarkkinoiden kautta, josta AR-lasit voivat levitä heidänkin toimintaympäristönsä ja asiakastoimialoihinsa. K4:n mielestä muutosvastarinta ratkeaa sillä, että AR kykenee osoittamaan olevansa oikeasti hyödyllinen. Myös K1 korostaa käyttäjän kokemia hyötyjä käyttöönoton onnistumisessa. Hän arvioi, että ilman itse koettuja hyötyjä teknologia jää käyttämättä, vaikka johtaja käskisi laitetta käyttämään. Haastateltavan mukaan tällöin "laitteita käytetään vaikka tahallaan väärin, ettei niitä tarvitse käyttää".

T6 lisää, että ilman selkeän hyödyn havaitsemista työntekijälle voi myöskin tulla helposti tunne, että hänen ei tarvitse käyttää laitetta. Esimerkiksi rutiinitehtävissä AR:n hyöty jää kokeneilla työntekijöillä tutkitusti pienemmäksi, jolloin painavien AR-lasien mukana kantaminen voi olla epämieliekästä. Kirjallisuuskatsauksessa nousi usein esille, että järjestelmien tulisi olla räätälöitävissä käyttäjäkohtaisesti vastaamaan kokeneiden käyttäjien vähäisempiä opastustarpeita. K3 vahvistaa, että aloittelevat työntekijät hyötyvät AR-ohjelmistoista enemmän. Kokeneempia työntekijöitä varten sen alustalla tehdyissä ohjelmistoissa on tehty mahdolliseksi ohittaa vaiheita. Implementaation onnistumismittareita pohtiessa käyttäjän hyödyt olisivat tärkeitä ottaa huomioon ja mitattavaksi.

K4 lisää, että sitten kun AR kykenee tuottamaan hyötyjä, sen täytyy vielä juurtua vakituiseen käyttöön. Hänen mukaansa, kun "rajuun tuotantokäyttöön [menee] jokin uusi juttu, on se sitten mikä tahansa, niin kyllä se vähän vaatii, että se hyväksytään." Kuten todettua, esimerkiksi K3 suosittelee kokeilunhaluisten työntekijöiden pilottitestaavan AR-ohjelmistoja ja -laitteita, ja mikäli työtehtävän suorittaminen onnistuu esimerkiksi nopeammin kuten luvattua, varautuneemmatkin työntekijät voivat muuttaa mielipidettään ja suostua käyttämään uusia laitteita. K3 kokee, että on tärkeää, että kaikki työntekijät suostuisivat käyttämään laitteita omasta tahdostaan. K5 kuvailee, että usein IT-hankkeissa käy juuri niin, että nuoremmilta työntekijöiltä tulee halu käyttöönotolle, ja vanhemmat työntekijät "ajautuvat käyttämään", ja lopulta huomaavat teknologian hyödyllisyyden. K3 lisää, että AR:llä voi myös olla houkutteleva vaikutus uusien työntekijöiden palkkaamisessa. Työnhakijat voivat nähdä AR:n työntekoa helpottavana teknologiana. Myös yksi haastateltu tehtaalla kunnossapitojohtaja näkee vastaavanlaisen hyödyn, että uuden teknologian hyödyntämisellä voidaan luoda "mainetta tuolla

työmarkkinoillakin, että kunnossapito ei ole enää sitä, että rasvaisilla käsillä vaan väännetään mutteria, vaan siinä hyödynnetään oikeasti tällaisia edistyneitä työkaluja ja tekniikoita”.

K2 korostaa käyttäjien motivoinnin merkitystä käyttöönottojen onnistumisessa, koska uusien toimintatapojen oppiminen ja käyttöönotto vaativat panostusta ennen kaikkea työntekijöiltä. T1 korostaa AR-laitteiden käytön koulutuksen tärkeyttä. T4 kokee, että käyttöliittymät ovat jo riittävän intuitiivisia ja nopeita oppia, minkä seurauksena koulutuksen ei pitäisi olla vaikeaa. K2 kuitenkin huomauttaa, että teollisuudessa työntekijöiden tekniset taidot ovat usein matalammat, ja ”siellä on paljon niitäkin, jotka ei ole diginatiiveja missään nimessä”. Näiden työntekijöiden motivointi on keskeistä, ja se onnistuu K2:n mukaan osallistuttamalla heidät jo suunnitteluvaiheessa, ja antamalla vaikuttaa käyttöönottoon. Ideaalitulanteessa halu muutokseen tulisi työntekijöiltä itseltään, jolloin AR voisi olla ratkaisu tarpeeseen. K3 näkee, että uuden työntekoa helpottavan teknologian käyttöönotto voi auttaa todistamaan, että yritys välittää työntekijöistään, mikä voi kohottaa työntekijöiden motivaatiota. Kirjallisuuskatsauksessa esiintyi yhdessä case-tutkimuksessa vastaavanlainen havainto.

Teollisuuden muutoksiin kommentoiden K3 kertoo, että teollisuuden prioriteetteja tehdasympäristön digitalisoinnissa ovat fiksumpien resurssien hyödyntämisen tapojen sekä ketterämmän tuotekehityksen ja -valmistuksen kehittäminen. Tämä on tarkoittanut, ja tarkoittaa yhä, että kehityspanostuksia kohdennetaan tuotantokoneisiin ja -prosesseihin. Hänen mukaansa digitalisoituvissa tehtaissa ja tehdasprosesseissa itse työntekijät ovat tietyllä tapaa unohdettu. AR mahdollistaa näille henkilöille pääsyn samaan infrastruktuuriin ja tietoon, mitä johdon käytössä on erinäisten järjestelmien kautta. K3 päättää sanomalla, että tämä on myös tapa, jolla johdon pitäisi pyrkiä myymään ajatus työntekijöille, että työntekijät ymmärtäisivät AR:n mahdollistaman hyödyn heille itselleen.

## 7 YHTEENVETO JA POHDINTA

Luku 6 kuvaili empiirisen aineiston havaintoja yhdistellen haastateltavien yhteneviä ja eriäviä näkemyksiä ja kokemuksia. Tutkielman päätteeksi luvussa 7.1 luodaan yhteenveto näistä havainnoista. Luvun 7.2 pohdintaosiossa tarkoitus on analysoida havaintoja ja niiden merkityksiä suhteessa kirjallisuuskatsauksen havaintoihin, ottaen huomioon myös tutkimuksen rajoitteet. Luku 7.3 summaa yhteen tulokset suhteessa tutkimuskysymyksiin. Samalla luvun 7.3 tarkoitus on pohtia tutkimuksen kulkua, sen kontribuutioita, sekä tarjota ehdotuksia teollisen AR:n yhä tarvitsemalle jatkotutkimukselle.

### 7.1 Yhteenveto

Teollisuuskontekstissa AR on osa laajempaa teollisuuden digitalisoitumista, josta usein käytetään nimitystä Industry 4.0 viitaten ohjelmistojen ja verkostoituneiden tuotantokoneiden ajamaan murrokseen, jonka pyrkimyksenä on mahdollistaa teollisuuden entistä joustavampi ja tehokkaampi toiminta (Lasi ym., 2014; Rüßmann et al. 2015). Industry 4.0 koostuu joukosta erilaisia mahdollistavia teknologioita, ja tässä kokonaisuudessa AR:n rooli on toimia ihmisten ja koneiden rajapinnassa eräänlaisena käyttöliittymänä (Funk ym., 2016). Teollisuus on kuitenkin vain yksi AR:n relevanteista sovelluskohteista, ja senkin sisällä on tunnistettavissa lukuisia potentiaalisia käyttötarkoituksia (Röltgen & Dumitrescu, 2020). Näiden rajaamiseksi tämä tutkielma fokusoitui tehtaiden lattiataason prosesseihin, joita ovat erityisesti kokoonpanoon, huoltoon, monitorointiin, laadunvalvontaan, sisälogistiikkaan ja toisaalta lattiataason työtehtävien koulutukseen liittyvät prosessit.

AR:n käytöstä eri prosesseista on havaittavissa pitkälti samanlaisia työnohjeistukseen ja datan visualisointiin liittyviä hyötyjä. Kokoonpanotehtävissä AR:ää käytetään oikea-aikaisen informaation antamiseen, joka voi olla esimerkiksi tietoa työn alla olevista tai tulevista tuotteista, ohjeita tuotteen kokoonpanoon tai esimerkiksi huomautuksia

virheistä (Danielsson, Holm & Syberfeldt, 2020). Tässä tutkielmassa haastatelluilla yrityksillä ei ollut kokemusta AR:n käytöstä kokoonpanossa, joten joko haastateltavat eivät juurikaan kommentoineet kokoonpanoon liittyvää käyttöä tai heidän näkemyksensä AR:n soveltuvuuteen noudattivat pitkälti kirjallisuuden näkemyksiä. Yleinen mielipide oli, että AR:n käyttö huolto- ja koulutustehtävissä on kokoonpanotehtäviä lähempänä yleistymistä.

AR:lle nähdään potentiaalia huoltoteknikkojen ohjeistamiseen alati monimutkaistuvissa huoltotehtävissä. Erityisesti etätukiohjelmistojen potentiaali herätti paljon keskustelua haastatteluissa johtuen siitä, että AR-avusteiset etätukiohjelmistot ovat jo alkaneet yleistyä. Usea haastateltava kertoi hyödyntävänsä tai harkitsevansa etätuen hyödyntämistä huoltotoiminnoissaan. Myös kirjallisuudessa etätukiohjelmistot tunnustettiin merkittävän liiketoimintapotentiaaloin omaavana innovaationa (de Souza Cardoso, Mariano & Zorzal, 2020). Etätukitehtävissä AR-elementti on kuitenkin rajallinen: kyse on pääasiassa kohteiden merkkäamisestä käyttäjän lähettämään videokuvaan. Kehittyneempiä opastavia AR-järjestelmiä on kirjallisuudessa esitelty paljonkin, mutta pitkälti laboratorio-olosuhteiden ja pilottitestien tasolla (de Souza Cardoso ym., 2020). Tällaisia järjestelmiä oli kuitenkin kehitteillä myös kahdella haastateltavalla, joskin kumpikin korosti, ettei laajamittaista käyttöönottoa ole tapahtunut. Opastavien järjestelmien tavoite on, että AR-laite osaa tunnistaa huollettavan kohteen ja antaa huolto-ohjeita tai relevanttia dataa kohteeseen liittyen, mutta käytännön tasolla tämä ei ole vielä nykypäivää.

Koulutuskäytössä AR:ää käytetään useilla eri toimialoilla useisiin eri tarkoituksiin, mutta tässä tutkimuksessa koulutuskäytön fokus oli lattiatason prosessien, kuten kokoonpano- ja huoltotehtävien kouluttamisessa. AR mahdollistaa koulutuksen fyysisen kohteen kanssa visualisoimalla esimerkiksi oikeita painikkeita tai koneen sisäisiä komponentteja. AR-koulutus voi myös tapahtua kokonaan virtuaalisten objektien avulla. Kirjallisuuden havaintojen perusteella AR:n käyttö koulutuksessa parantaa oppimistuloksia ja opitun asian muistiin jäämistä (Gavish ym., 2015). Haastateltavien kokemukset AR:n käytöstä koulutuksessa olivat kuitenkin puutteelliset, sillä ne koskivat lähinnä sekoitetun todellisuuden ja virtuaalitodellisuuden käyttötapoja. Useampi asiantuntija kommentoi, että VR on AR:ää paremmin soveltuva teknologia koulutuskäyttöön. Silti, usea haastateltava näki AR:n perinteisiä koulutusmenetelmiä paremman oppimiskokemuksen mahdollistajana sen interaktiivisuuden ja visuaalisuuden ansiosta.

Varastonhallinnan prosesseissa AR:ää on käytetty opastamaan varastotyöntekijää poimimaan oikea tuote oikealta paikalta, jolla voidaan haastateltujen asiantuntijoiden mukaan saavuttaa merkittäviä hyötyjä tehokkuuteen. Muista käyttökohteista turvallisuus on tema, jossa AR voi parantaa lattiatason prosesseja. Kirjallisuuskatsauksessa esitellään keinoja, miten AR voi varoittaa sekä ulkoisista vaaratekijöistä kuin myös herättää käyttäjän huomio, mikäli järjestelmä huomaa käyttäjän keskittymisen herpaantuvan tai havainnoi virheen syntyneen (Michalos ym., 2016). Yksi haastateltava korosti, että AR:llä on suurta potentiaalia alueilla, joilla

työskentelee suuria koneita ihmisten rinnalla. AR:n kyky tarkkailla ympäristöään ja seurata sen tapahtumia mahdollistaa AR:n hyödyntämisen myös laadunvalvonnassa. Toisaalta AR-opastus itsessään toimii eräänlaisena laadunvalvojana, sillä ohjeita noudattamalla työsuoritus menee oikein. Haastateltavilla AR:ää ei ole käytetty laadunvalvonnassa, eikä se noussut juurikaan esiin haastateltavien näkemyksissä AR:n muista käyttötavoista.

Suuri osa haastateltavista ilmaisee uskovansa AR:n saavuttavan potentiaalinsa vasta AR-lasien maturoitumisen myötä. Usea haastateltava uskoo, että AR-lasien yleistyminen tapahtuu ensin kuluttajamarkkinoilla, josta se leviää tehdasympäristöön. Nykyisellään AR-lasien puutteelliset ominaisuudet ovat kuitenkin AR:n yleistymistä hidastava tekijä. Moni haastateltu odottaa laitteiden kehittyvän ja halpenevan sekä todistavan hyödyllisyytensä. Kirjallisuudessa ilmenneet huolet ja haasteet etenkin teknisiin ominaisuuksiin ovat yhä relevantteja, vaikka kehitystä on jo tapahtunut parempaan. Uudet innovaatiot sekä huhutut laitejulkaisut kuten Applen AR-lasit nostavat asiantuntijoiden odotuksia. Muut AR-laiteratkaisut eivät saaneet haastateltavilta erityishuomiota. Laajalti saatavilla olevat ja käyttäjien hyväksymät mobiililaitteet koetaan hyväksi ratkaisuksi sillä välin, kun AR-lasit ottavat askeleita eteenpäin, mutta pääasiassa tulevaisuudessa parhaan AR-käyttökokemuksen uskotaan olevan saavutettavissa AR-lasien avulla.

Lukuisista tekniikkaan, käyttöön tai sosiaalisiin aspekteihin liittyvistä haasteista huolimatta AR:ää ajaa eteenpäin niin laitteiden, 3D-ohjelmistojen ja AR-kehitysohjelmistojen kehittymisen tarjoamat uudet mahdollisuudet uudenlaisten hyötyjen toteutumisesta. Tässä tutkielmassa hyödyt luokiteltiin neljään kategoriaan Gregorin ym. (2006) määritelmää mukaillen: (1) transaktio-, (2) informaatio-, (3) strategia- ja (4) transformaatiohyötyihin. Näistä ensimmäiset, eli kustannustehokkuuteen viittaavat transaktiohyödyt koettiin niin AR:ää käsittelevissä tutkimuksissa kuin myös haastateltavien keskuudessa tärkeimmiksi tavoitteiksi AR:n käyttöönotossa. Haastateltavien omista kokemuksista havaittuja transaktiohyötyjä olivat säästöt toimitusketjun hallinnassa, operatiivisten kulujen laskeminen ja työntekijöiden tuottavuuden parantaminen. Johtopäätelmänä myös investointien tuoton kasvattaminen on AR:n avulla saavutettavissa oleva hyöty, sillä kustannusten laskeminen ja tuottavuuden paraneminen tarkoittavat yhdessä, että pienemmällä panoksella saadaan aikaan enemmän.

Vaikka yritykset painottivat taloudellisia hyötyjä ensisijaisina tavoitteina ja vastaavasti informaatiohyötyjä vähemmän tärkeinä, informaatiohyötyihin liittyviä hyötyjä ilmeni paljon haastateltavien lausunnoissa. Haastateltavien omien kokemusten perusteella AR voi mahdollistaa nopeamman sekä helpomman pääsyn informaatioon, paremman informaation tarkkuuden, informaation tarjoamisen paremmassa muodossa sekä alkuperäisen määritelmän ulkopuolelta myös laadukkaamman tiedonkeruun. Laadukkaammalla tiedonkeruulla tarkoitetaan nopeampaa, vaivattomampaa tai tarkempaa tiedonsyöttämistä esimerkiksi ohjelmiston automaattisen



raportoinnin avulla. Hyötyjä on saatavilla niin AR-etätukiohjelmistoista kuin myös ohjeistavista AR-järjestelmistä.

AR:n mahdollistamia strategiahyötyjä ei käsitelty erityisellä tarkkuudella johtuen haastatteluiden fokuoitumisesta AR:n hyödyntämiseen lattiataason prosesseissa. Esille nousi kuitenkin, että esimerkiksi etätuen tapauksessa voidaan muodostaa hyödyllisiä linkkejä toisten, sisäisten tai ulkoisten, organisaatioiden välille sekä mahdollistaa nopeampaa reagointia esimerkiksi ongelmatilanteisiin. Haastateltavien näkemysten perusteella AR voi laadun ja toimintatapojen parannusten myötä nostaa myös asiakastyytyväisyyttä ja siten parantaa asiakassuhteita. Lisäksi AR-ohjeistusten yhdistäminen uusiin tuotteisiin voi parantaa sen tuotetarjoomaa tai tarjota yritykselle uusia liiketoiminnallisia mahdollisuuksia.

Gregorin ym. (2006) luokituksen neljännen hyötykategorian eli transformaatiohyötyjen kohdalla haastateltavat korostavat AR:n kykyä kehittää prosesseja minimoimalla virheiden määrää tehden niistä tehokkaampia ja turvallisempia. AR voi myös korottaa työntekijöiden taitotasoa paitsi laadukkaamman koulutuskokemuksen myös työtehtävien ohjeistuksen avulla. Transformaation laajempiin liiketoiminnallisiin muutoksiin liittyviä hyötyjä ei kuitenkaan aineistossa ilmennyt. Alkuperäisestä luokittelusta ulkopuolisena hyötynä lisätään työntekijöiden korkeampi motivaatio tai sitoutuminen, joka tiettyjen haastateltavien mukaan on saavutettavissa uuden työtehtävien suorittamista helpottavan teknologian käyttöönotolla. Tähän liittyen osa haastateltavista arvioi, että AR:n kaltaisen avustavan teknologian käyttöönotto voi myös kasvattaa työnhakijoiden kiinnostusta yritystä kohtaan.

Käyttöönoton osalta kevyemmät AR-sovellukset kuten etätukiohjelmit ovat implementoitavissa vähäisin vaatimuksin, sillä loppukäyttäjän, kuten huoltoteknikon, roolissa niiden käyttöön riittää mobiililaitte ja verkkoyhteys. Opastavat ja interaktiiviset järjestelmät sen sijaan vaativat laajemman integroinnin taustajärjestelmiin ja IT-infrastruktuuriin. Luvussa 6.4 määritellään kirjallisuuden ja haastateltavien kommenttien perusteelta kehitetty asteittainen etenemismalli teknologialle etenemiselle tietoturvasta ja IT-infrastruktuurista datankeräämiseen, datanhallintaan, tiedonhyödyntämiseen ja visualisointiin AR:ssä. Portaikon jokainen askel asettaa omat haasteensa, jotka tulisi selvittää, jotta AR voi tuottaa aidosti mittavaa lisäarvoa tarjoamalla käyttäjälle tilanteen kannalta oleellista dataa. Pisimmällä AR:n käyttöönotossa ollut haastateltava oli kehittämässä kyvykkyyksiään neljännellä portaalla eli tiedon hyödyntämisessä taustajärjestelmissä, ja siirtymässä AR:n käyttöönottoa kohti.

Kaikki haastatellut AR:ää kehittävät teollisuusyritykset kertovat kehittävänsä AR-ohjelmistojaan ulkoisen kumppanin kanssa. Yksi syy tälle on, että teollisuusyrityksissä ohjelmistokehitys on verrattain nuori toiminto, eikä monella perinteisellä teollisuusyrityksellä ole tarvittavia kyvykkyyksiä siihen erityisesti siksi, että AR-kehitys vaatii erityisosaamista ohjelmisto- ja sisällöntuotantoputken eri vaiheissa. Esimerkiksi AR-ohjeistusten laatiminen eri koneiden eri työvaiheisiin tai huoltotehtäviin vaatisi valtavan määrän työtä, mikä usean haastateltavan mielestä ei ole kustannustehokasta ilman

sisällöntuotantoprosessin automatisoinnin kehittämistä. Myöskään valmiiden AR-ohjelmistojen integroitavuus erilaisiin taustajärjestelmiin ei asiantuntijoiden mukaan ole vielä riittävällä tasolla.

Organisaationaalisen yhteensopivuuden varmistamisessa yksi tärkeä huomautus oli se, että saman yrityksen sisälläkin eri tehtaat voivat poiketa toisistaan niin paljon, että samaa teknologiaa voi olla vaikea implementoida eri tehtaiden erilaisissa prosesseissa ja koneistoissa. Tämän lisäksi perinteiset teollisuusyritykset ovat usein suuria ja kankeita organisaatioita, joille dynaaminen muuntautuminen voi olla haaste. Haastateltavien viesti on selvä: tuotannon toimintaa ei saa riskeerata eikä laadusta saa tinkiä. Moni haastateltava osoitti kuitenkin tuskastumista yrityksensä muutoksen hitauteen. Vaikka markkinoiden disruptoitumista uusien yritysten toimesta ei pidetä suurena huolenaiheena, markkinaosuuksia tullaan uudelleenjakamaan nykyisten suurten toimijoiden kesken uusien Industry 4.0-teknologioiden alkaessa yleistyä kiihtyvällä vauhdilla. Usea haastateltava korostaa lisäksi tehdasympäristön asettamia käytännön haasteita liittyen muun muassa AR-laitteiden ylläpitoon sekä käyttöön haastavissa olosuhteissa.

Käyttöönoton viimeinen ratkaiseva tekijä on käyttäjähyväksynnän saavuttaminen. Haastattelujen perusteella vanhemmat ja kokeneemmat työntekijät ovat vastahakoisempia AR:n käyttöönottoon. Usea haastateltava kuitenkin korostaa, että AR:n käyttäjähyväksyntä tulee sen myötä, että käyttäjät huomaavat AR:n hyödyllisyyden prosesseissa. Yhtä lailla moni kuitenkin huomauttaa, että koettuihin hyötyihin vaikuttaa oleellisesti käyttäjän oma osaamistaso ja ohjeistuksen tarve. Aloitteleville työntekijöille AR on hyödyllisempi.

## 7.2 Pohdinta

Kirjallisuuden perusteella yritysten ensisijainen päämäärä AR:n käyttöönotolle on kuitenkin kustannusten pienentäminen (Röltgen & Dumitrescu, 2020). Myös toteutetuissa haastatteluissa informaatiohyödyt koettiin vähemmän tärkeinä rahallisiin hyötyihin verrattuna. Usea haastateltava kuitenkin huomautti paremman tiedonhyödyntämisen vaikutuksista myös taloudellisen edun tavoitteluun. Kirjallisuuskatsauksessa esitellyn kyselytutkimuksen mukaan AR:n suurin hyöty teollisuudessa on tehokas pääsy informaatioon (Masood & Egger, 2019). Tästä voi luoda johtopäätelmän, että informaatiohyötyjen realisoituminen on kriittinen tekijä taloudellisten hyötyjen muodostumiselle, sillä työtehtävän suorittaminen ei tehostu AR:n ansiosta, mikäli AR:n tarjoama informaatio ei ole helpommin ja nopeammin saatavilla aiempiin menetelmiin kuten paperiseen dokumentaatioon verrattuna. Tiedonkäsittelyyn kuluva aikaa voi täten pitää keskeisenä suoriutumismittarina.

Kirjallisuuskatsauksessa lähes kaikkiin Gregorin ym. (2006) hyötyluokittelun eri hyötyihin oli tunnistettavissa jokin tutkimuksissa esitelty esimerkki AR:n teollisissa prosesseissa tuottamasta hyödystä. Ainoa poikkeus

tähän oli strategiahyötyihin luettava ” ICT-strategian ja liiketoimintastrategian yhteensovittaminen”, joka ei yleisesti ottaen muutenkaan synny lattiataason prosesseissa. Haastatteluissa useampi hyöty jäi ilman esimerkkiä. Transaktiohyötyjen osalta tällaisia olivat kommunikaatiokustannusten laskeminen ja uusien palkkausten välttäminen. Informaatiohyödyistä ilman empiiristä validointia jäi kohta ”parempi informaatio strategiseen suunnitteluun”.

Strategia- ja transformaatiohyödyistä jäi haastatteluissa mainitsematta useampia: ”ICT-strategian ja liiketoimintastrategian yhteensovittaminen”, ”Asiakassuhteiden parantaminen”, ”Parempien tuotteiden ja palveluiden tarjoaminen asiakkaille”, ”Organisaation kyvykkyyksien laajentaminen” ja ”Liiketoimintamallien parantaminen”. Fokusoituminen lattiataason prosesseihin selittänee osaltaan käyttäjätason hyötyjen etualalla olemista organisaation strategisiin ja transformatiivisiin hyötyihin verrattuna. Kirjallisuudessa esimerkiksi organisaation kyvykkyyksien laajentamista puoltavia huomioita ilmeni sen myötä, että osaaminen siirtyy työntekijöiltä yrityksen omiin järjestelmiin ja sitä myötä kelle tahansa työntekijälle jaettavissa olevaksi (Fiorentino ym., 2014). Yhtenä keskeisenä strategiahyötynä kilpailuetu, kuten kustannusjohtajuus, on saavutettavissa, mikäli AR mahdollistaa kustannus- ja tuottavuushyötyjä, joita kilpailijat eivät kykene saamaan.

Kuten todettua, taloudelliset hyödyt koetaan tärkeimmiksi AR:n implementoinnissa, minkä seurauksena myös investointipäätöksenteossa fokuksen tulee olla ns. ”business-casen” ja liiketoiminnallisen arvon määrittämisessä. AR:ään investoineet yritykset kertovat tunnistaneensa jo useampia alueita, joissa AR voi tuottaa niille arvoa. He rakentavatkin jo valmiuksiaan AR:n käyttöönotolle, kun taas osa haastatelluista yrityksistä pohtii vielä AR:n kykyä tuottaa arvoa mittaville investoinneille, joita AR:n käyttöönotto vaatii niin laitteistojen hankinnan kuin ohjelmistojen ja sisältöjen kehittämisen kannalta. Haastatellun AR-kehitysohjelmistoja tuottavan yrityksen edustaja kertoo, että AR:n hyödyt kykenevät kuittaamaan kustannuksensa takaisin asiakkailleen jo vuoden sisällä investoinnista.

Osa haastateltavista sanoo, että AR:n yleistyminen voisi olla tapahtumassa muutaman vuoden sisällä, osan ollessa vielä varsin skeptisiä. Xpert Digitalin (2021) arvioiden mukaan vuonna 2024 kuluttajakäyttöön globaalisti myytyjen AR-lasien määrä nousisi noin 1,59 miljoonaan kappaleeseen, mikä kertonee, että räjähdysmäistä kasvua ei kuitenkaan ole aiheellista odottaa. Tämän voidaan olettaa indikoivan hidasta yleistymistä myös konservatiivisemmän teollisuuden puolella. Usea yritys myös kertoo tämänhetkisten prioriteettiensa olevan muilla alueilla. Haastatteluissa ilmenee fokusta tuotantoinvestointien priorisoimiseen, datankeruuseen, datanhallintaan ja tiedonhyödyntämiseen. Ympäristöarvot ja koronapandemia vaikuttavat niin ikään yritysten investointihalukkuuteen. Tietyt haastateltavat kuitenkin arvioivat, että muutaman vuoden sisällä AR:n käyttöönotto voi kuitenkin tapahtua nopeallakin aikataululla.

Kehitetyn AR-ohjelmiston integrointi ja konfigurointi vaatii käyttötapauskohtaisen analyysin, jossa määritetään selvät tilanteet ja tarpeet,

joihin AR:n tulisi vastata. Paras kannattavuus lienee saatavissa prosesseista, joita suoritetaan riittävän usein, mutta tällöin prosessi on usein myös työntekijöille entuudestaan tuttu, jolloin AR:n hyödyt voivat jäädä pienemmiksi. AR-ohjelmistoja ja -sisältöjä suunnitellessa ideaali tasapaino löytynee tehtävän toistuvuuden ja käyttäjän opastuksen tarpeen väliltä. Kirjallisuudessa on esitelty tiettyjä tapoja automatisoida sisällöntuotantoa, mutta niissäkin jätetään varsin paljon manuaalisen muokkaamisen tai käyttäjän tulkinnan varaan. Niin kirjallisuudessa kuin haastatteluissa kävi selväksi, että perinteisillä teollisuusyrityksillä on harvoin AR:ään liittyvää erikoisosaamista, joten järjestelmiä ja sisältöjä kehitetään ulkoisten kumppanien kanssa.

Uuden teknologian käyttöönotossa ei ole kyse pelkästä järjestelmän ostamisesta, vaan tärkeintä on kehittää toimintaa ja osaamista siten, että järjestelmästä saatavissa oleva hyöty on maksimoitavissa. Tämä vaatii organisaatiolta transformaatiokyvykkyyttä muutoksiin sopeutumiseen ja jatkuvaan kehitykseen. Yritysten IT-johdamiselle tulisi löytää selkeitä hallintorakenteita (Fitzgerald ym., 2014). AR:n tapauksessa erinäiset työprosessit voivat muuttua esimerkiksi enemmän standardoiduiksi siten, että AR valvoo jokaisen suunnitellun työvaiheen toteutumisen. Prosesseja voidaan myös joutua suunnittelemaan uudestaan tai luomaan täysin tapauskohtaisesti muun muassa räätälöityjen tuotantoerien kohdalla. Mitä enemmän yritys nojaa AR:ään tiedonvälityksessä, sen tärkeämpää AR-laitteiden ja -ohjelmistojen ylläpidosta sekä taustateknologian saumattomasta toiminnasta tulee.

Kirjallisuudessa pilottitestien osallistujiksi suositeltiin kokeilunhaluisia avoimia henkilöitä (Porcelli ym., 2013), ja usea yritys olikin toiminut tällä tavoin. Kirjallisuudessa esiin nousseita huolia esimerkiksi tietoturvaan, työtehtävän muuttumiseen tai aseman menettämiseen (Jetter, Eimecke & Rese, 2018; Quandt ym., 2018) liittyen ei juurikaan ilmennyt, mikä voi osittain selittyä sillä, että haastatteluissa yrityksissä ei ole edetty AR:n laajaan käyttöönottoon. Kirjallisuuskatsauksessa ilmeni, että IT-investointien hyötyjen realisoitumisessa on usein viive, kun uuden teknologian oppiminen ja uusien prosessien juurtuminen vie aikansa (Gregor ym., 2006). Siksi AR ei välttämättä kykene heti näyttämään hyötyjään loppukäyttäjille. Ratkaisevaksi tekijäksi käyttäjänhyväksynnän saavuttamisessa nousee täten työntekijöiden motivointi ja osallistaminen, jotta matalamman teknisen taitotason omaavat henkilöt haluavat kokeilla AR-teknologiaa ja kehittää prosesseja yhdessä johdon kanssa, sillä ilman heidän panostaan implementointi epäonnistuu helposti.

Tutkielman empiirisen osuuden tarkoitus oli tutkia AR:n hyödyntämistä käytännön kontekstissa suomalaisessa teollisuudessa sekä ymmärtää paremmin yritysten näkemyksiä AR:n hyödyistä sekä AR:n onnistuneen implementoinnin mahdollistamisesta. Lisäksi tutkimuksella haluttiin luoda ymmärrystä AR:n nykytilasta. Tutkimusta varten haastateltiin yhteensä 11 yritystä, joista kuusi oli Suomessa toimivia suuria teollisuusyrityksiä, ja loput viisi haastateltavaa edustivat AR-aiheiden ympärillä työskenteleviä IT- ja konsultointialan yrityksiä. Kvalitatiivisella tutkimusmenetelmällä tarkoituksena oli hankkia

lisätietoa ja parempaa ymmärrystä tarkasteltavasta ilmiöstä kahdenvälisen haastatteluiden avulla.

Tutkielman rajoitteena on rajallinen käytännön kokemus AR:stä teollisuuden prosesseissa johtuen siitä, että yksikään haastateltu yritys ei ole vielä implementoinut AR:ää käyttöön laajamittaisesti. Kokemus AR:stä rajautuu pääasiassa erilaisiin kokeiluihin ja pilottitesteihin, jonka seurauksena kokemuksia esimerkiksi muutosvastarinnasta, työntekijöiden huolista, laaja-alaisesta AR:n hallinnasta ja AR-sisällöntuotannosta ei nouse esiin samassa määrin kuin koko organisaation laajuisen implementaation tapauksessa ilmaantuisi. Myös hyödynnetyn kvalitatiivisen tutkimuksen ohjeistavan lähestymistavan käytössä ilmenee riski, että kirjallisuuden havainnot ohjaavat liikaa haastatteluprosessia ja johdattelee vastauksia, mutta johdattelevia kysymyksiä pyrittiin välttämään tämän estämiseksi. Valittu tutkimusmenetelmä ei myöskään tarjoa numeraalista dataa AR:n käyttöönoton arviointiin. Toisaalta tutkielma tarjoaa kvantitatiivista tutkimusta syvemmän perehtymisen syihin, miksi yritykset ottavat AR:ää käyttöön erilaisissa tarkoituksissa tai jättäytyvät seuraamaan sen kehitystä sivurajalta.

### 7.3 Johtopäätelmät

Yritysten rajallisesta käytännön kokemuksesta huolimatta haastatellut henkilöt omasivat ymmärrystä AR:stä ja sen hyödyntämisestä teollisuuden kontekstissa, osa laajempialaisesti ja osa esimerkiksi lähinnä omaan toimintaan liittyen. Osa haastateltavista ilmoitti, ettei voi kertoa kaikista projekteistaan, mikä osoittaa paitsi sen, että projekteja on kehitteillä tai suunnitteilla, niin myös sen, että AR:n nähdään mahdollistavan potentiaalisia kilpailuetuja, joista ei mielellään kerrota ulospäin. Yksi AR-ohjelmistokehitysalustaa kehittävä yritys kertoi mielenkiintoisen tiedon, että sitä koskee lukuisat salassapitosopimukset, mikä osoittaa, että AR:stä koetaan olevan saatavissa jossain määrin kilpailuetua, jota ei haluta jakaa varautuneemmille kilpailijoille. Kyseisellä yrityksellä on kuitenkin asiakkaita ympäri maailmaa, eikä haastateltava eritellyt mistä maista nämä olivat peräisin.

Tutkimustavoitteisiin vastaten AR:ää voidaan hyödyntää useissa teollisuuden lattiatason prosesseissa, joissa se kykenee informaatiota tarjoamalla tehostamaan työntekijöiden toimintaa etenkin kokoonpanossa, huollossa, prosessien koulutuksessa ja varastohallinnassa sekä muun muassa valvontatehtävissä ja laadunvalvonnassa. Hyötyjen osalta keskeinen havainto oli, että yritykset janoavat ensisijaisesti taloudellisia hyötyjä, mutta kustannussäästöt ja tehokkuusparannukset ovat ennen kaikkea oikea-aikaisen ja tarpeellisen tiedonvälityksen ansiota. Näiden seurauksena muun muassa kustannusjohtajuuteen liittyvät strategiset kilpailuedut ovat mahdollisia saavuttaa, joskin strategisia hyötyjä ilmeni haastatteluaineistosta informaatio- ja transaktiohyötyjä vähemmän. AR voi myös avata uusia liiketoimintamahdollisuuksia esimerkiksi etätukipalveluiden ja mahdollisesti

tuotteista tarjottavien, AR-laitteisiin siirrettävissä olevien, AR-ohjeiden tuottamisella. Gregorin ym. (2006) hyötyluokittelun tavoite ei ole, että teknologian tulee vastata kaikkiin hyötyihin, ja usein hyödyt ovatkin liitännässä toisiinsa ja toisiin kategorioihin. Teollisissa prosesseissa AR:n keskeisimmät hyödyt ovat informaation parempi saatavuus ja siitä seuraavat ajalliset säästöt, joka puolestaan voi mahdollistaa muita hyötyjä, kuten rahallisia hyötyjä.

Yleisesti otoksen perusteella AR:n käyttöönoton tilanne Suomessa vaikuttaa olevan parhaimmillaankin vielä valmiuksien rakentamisessa niiden yritysten osalta, jotka ovat tunnistaneeet AR:n arvon omaan toimintaansa. Osa yrityksistä pyrkii pilottitestiä avulla havaitsemaan AR:lle näitä omaan toimintaan hyödyllisiä käyttökohteita, joiden varaan rakentaa liiketoimintaa ja prosesseja. Osa taas suosii sivusta tarkkailua, kunnes hyödyt selvenevät ja ovat pienemmin investoinnein saavutettavissa. Tuotantokeskeiset investoinnit, datankeruuseen liittyvät hankkeet sekä muut Industry 4.0-teknologiat vaikuttavat tarjoavan tällä hetkellä AR:ää paremman hyötypotentiaalin, mikä voi selittyä sillä, että AR tarvitsee edellä mainittujen tietoa ennen kuin sen visualisointikyvyille on arvoa.

Tämän tutkielman kontribuutioita olivat tiivistelmät kirjallisuuskatsauksessa havaituista AR:n hyödyistä sekä AR-lasien haasteista. Haastatteludatan pohjalta AR:n hyödyistä tehdyt taulukot kykenevät osittain vahvistamaan kirjallisuudessa todettuja hyötyjä reaali maailman käytössä rajallisesta materiaalista huolimatta. Hyötyprofiilit voivat kuitenkin riippua kontekstista mahdollistaen sen, että tietyissä prosesseissa voidaan saavuttaa osittain erilaisia hyötyjä kuin toisissa. Lisäksi tutkielman kontribuutioksi voidaan laskea haastattelujen pohjalta luotu etenemissuunnitelma AR:n käyttöönotolle, joka antaa osviittaa perustasta, joka olisi hyvä olla olemassa ennen AR:n laajamittaista käyttöönottoa. Teknisten perustojen lisäksi AR:n käyttöönoton onnistumiseen vaikuttavat tutkielmassa läpikäytyt huomiot järjestelmien ja sisältöjen kehittämiseen, organisaationaaliseen yhteensopivuuteen ja käyttäjähäväksyntään.

Tutkielman suhteellisen laajan rajauksen takia jatkotutkimusta on mahdollista kohdentaa lukuisiin eri aiheisiin laitteisiin, prosesseihin, hyötyihin, haasteisiin, taustateknologioihin, organisaation kyvykkyyksiin ja implementointiprosessiin liittyen. Aika tulee näyttämään realisoituvatko AR:n erinäiset pilottitesteissä havaitut hyödyt laajemmassa käyttöönotossa. Tämä on keskeinen tutkimuksen kohde sitten, kun AR:n käyttöönotto saavuttaa laajemman asteen. Toinen arvokas tutkimuksen kohde olisi tutkia kustannukset huomioon ottavia malleja AR:ää koskevalle investointipäätöksenteolle. Yksi mahdollisuus olisi myös perehtyä yksittäiseen tehtävään, esimerkiksi huoltoprosessiin ja selvittää perinpohjaisesti, mitä muutoksia AR-ohjeistuksen hyödyntäminen tarkoittaisi huoltoteknikon työtehtävään ja kuinka organisaatiotason huoltotoimintaa tulisi muuttaa käytännön tasolla uuden teknologian hyödyntämiseksi. Lisää tutkimusta tarvitaan myös AR:n käyttöönoton erinäisistä organisaatiotason haasteista, kuten esimerkiksi lakien ja regulaation asettamista rajoitteista.

## LÄHTEET

- Aiman-Smith, L., & Green, S. G. (2002). Implementing new manufacturing technology: The related effects of technology characteristics and user learning activities. *Academy of management journal*, 45(2), 421–430.
- Assarroudi, A., Heshmati Nabavi, F., Armat, M. R., Ebadi, A., & Vaismoradi, M. (2018). Directed qualitative content analysis: the description and elaboration of its underpinning methods and data analysis process. *Journal of Research in Nursing*, 23(1), 42–55.
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(4), 355–385.
- Bellalouna, F. (2020). Industrial Use Cases for Augmented Reality Application. 2020 11th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom). IEEE. 11–18.
- Billinghurst, M., Clark, A. & Lee, G. (2015). A survey of augmented reality. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, vol. 8, no. 2–3, 73–272.
- Bimber, O., & Raskar, R. (2006). Modern approaches to augmented reality. In *ACM SIGGRAPH 2006 Courses*, 1–88.
- Blattgerste, J., Strenge, B., Renner, P., Pfeiffer, T., & Essig, K. (2017). Comparing conventional and augmented reality instructions for manual assembly tasks. In *Proceedings of the 10th international conference on pervasive technologies related to assistive environments*, 75–82.
- Boland, M. 10.8.2021. Web AR: By the Numbers. Artikkele AR Insiderin sivuilla. Haettu 28.11.2021 osoitteesta <https://arinsider.co/2021/08/10/web-ar-by-the-numbers/>
- Bottani, E., & Vignali, G. (2019). Augmented reality technology in the manufacturing industry: A review of the last decade. *IISE Transactions*, 51(3), 284–310.

- Bowman, N., Banks, J., & Westerman, D. (2016). Through the looking glass (self): The impact of wearable technology on perceptions of face-to-face interaction. *Communication Research Reports*, 33(4), 332–340.
- Büttner, S., Mucha, H., Funk, M., Kosch, T., Aehnelt, M., Robert, S., & Röcker, C. (2017). The design space of augmented and virtual reality applications for assistive environments in manufacturing: a visual approach. In *Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, 433–440.
- Caudell, T. P. & Mizell, D. W. (1992). Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. *System Sciences*, 1992. *Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference*, Vol. 2, 659–669.
- Chi, T., 2013. Rapid prototyping Google Glass. Video Ted-verkkosivustolla. Haettu 1.12.2021 osoitteesta <http://ed.ted.com/lessons/rapid-prototyping-google-glass-tom-chi>
- Copeland, T. 31.7.2021. Machine Tool Data Analysis Identifies Effective Setup Tactics. Artikkelin Modern Machine Shopin sivuilla. Haettu 3.12.2021 osoitteesta <https://www.mmsonline.com/articles/machine-tool-data-analysis-identifies-effective-setup-tactic>
- Cox, J. 5.10.2015. Disney is using augmented reality to bring coloring books to life. *The Verge* verkkosivut. Haettu 20.5.2017 osoitteesta <https://www.theverge.com/2015/10/5/9453703/disney-research-augmented-reality-coloring-books>
- Danielsson, O., Holm, M., & Syberfeldt, A. (2020). Augmented reality smart glasses in industrial assembly: Current status and future challenges. *Journal of Industrial Information Integration*, 20, 100175.
- De Amicis, R., Ceruti, A., Francia, D., Frizziero, L., & Simões, B. (2018). Augmented Reality for virtual user manual. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 12(2), 689–697.
- De Pace, F., Manuri, F., Sanna, A., & Fornaro, C. (2020). A systematic review of Augmented Reality interfaces for collaborative industrial robots. *Computers & Industrial Engineering*, 149, 106806.
- De Souza Cardoso, L. F., Mariano, F. C. M. Q., & Zorzal, E. R. (2020). A survey of industrial augmented reality. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 106159.
- Deloitte. 2017. Augmented reality: on the cusp of reality. Haettu 10.6.2018 osoitteesta <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Images/info-graphics/technologymediatelecommunications/gx-deloitte-tmt-2018-augmented-reality-report.pdf>



- Dini, G., & Dalle Mura, M. (2015). Application of augmented reality techniques in through-life engineering services. *Procedia CIRP*, 38, 14–23.
- Donoghue, I., Hannola, L., Papinniemi, J., & Mikkola, A. (2018). The benefits and impact of digital twins in product development phase of PLM. *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management*, 432–441.
- Elo, S., & Kyngäs, H. (2008). The qualitative content analysis process. *Journal of advanced nursing*, 62(1), 107–115.
- Facebook Reports Third Quarter 2021 Results. 30.9.2021. Osavuositiedot Facebookin verkkosivulla. Haettu 27.11.2021 osoitteesta [https://s21.q4cdn.com/399680738/files/doc\\_news/Facebook-Reports-Third-Quarter-2021-Results-2021.pdf](https://s21.q4cdn.com/399680738/files/doc_news/Facebook-Reports-Third-Quarter-2021-Results-2021.pdf)
- Fast-Berglund, Å., Gong, L., & Li, D. (2018). Testing and validating Extended Reality (xR) technologies in manufacturing. *Procedia Manufacturing*, 25, 31–38.
- Fiorentino, M., Uva, A. E., Gattullo, M., Debernardis, S., & Monno, G. (2014). Augmented reality on large screen for interactive maintenance instructions. *Computers in Industry*, 65(2), 270–278.
- Fitzgerald, M., Kruschwitz, N., Bonnet, D., & Welch, M. (2014). Embracing digital technology: A new strategic imperative. *MIT sloan management review*, 55(2), 1.
- Foley, M. 31.3.2021. U.S. Army advances its 120,000 HoloLens-based headset deal with Microsoft. *ZDNET artikkeli*. Haettu 27.11.2021 osoitteesta <https://www.zdnet.com/article/u-s-army-advances-its-120000-hololens-based-headset-deal-with-microsoft/>
- Fox Rubin, B. 14.9.2017. Tim Cook sees a bigger future for AR than VR. *CNET:in verkkosivut*. Haettu 13.4.2017 osoitteesta <https://www.cnet.com/news/tim-cook-sees-a-bigger-future-for-ar-augmented-reality-than-vr-virtual-reality/>
- Funk, M., Korn, O., & Schmidt, A. (2015). Enabling end users to program for smart environments. In *Proc. CHI'15 Workshops (Vol. 86)*.
- Funk, M., Kosch, T., Kettner, R., Korn, O., & Schmidt, A. (2016). motioneap: An overview of 4 years of combining industrial assembly with augmented reality for industry 4.0. *Proceedings of the 16th international conference on knowledge technologies and datadriven business*.
- Gartner, 2005. Hype Cycle for Emerging Technologies, 2005. Gartnerin verkkosivut. Haettu 27.11.2021 osoitteesta <https://www.gartner.com/en/documents/484310/hype-cycle-for-emerging-technologies-2005>
- Gavish, N., Gutiérrez, T., Webel, S., Rodríguez, J., Peveri, M., Bockholt, U., & Tecchia, F. (2015). Evaluating virtual reality and augmented reality

training for industrial maintenance and assembly tasks. *Interactive Learning Environments*, 23(6), 778–798.

- Google. Googlen verkkosivut. Haettu 8.5.2018 osoitteesta <https://developers.google.com/ar/discover/>
- Gregor, S., Martin, M., Fernandez, W., Stern, S., & Vitale, M. (2006). The transformational dimension in the realization of business value from information technology. *The Journal of Strategic Information Systems*, 15(3), 249–270.
- Holm, M., Danielsson, O., Syberfeldt, A., Moore, P., & Wang, L. (2017). Adaptive instructions to novice shop-floor operators using Augmented Reality. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 34(5), 362–374.
- Hsieh, H. F., & Shannon, S. E. (2005). Three approaches to qualitative content analysis. *Qualitative health research*, 15(9), 1277–1288.
- Jetter, J., Eimecke, J., & Rese, A. (2018). Augmented reality tools for industrial applications: What are potential key performance indicators and who benefits?. *Computers in Human Behavior*, 87, 18–33.
- Kauppalehti. N.d. Lista pörssiin listattujen yhtiöiden osakekursseista ja markkina-arvoista. <https://www.kauppalehti.fi/porssi/kurssit/XHEL>
- Kourouthanassis, P. E., Boletis, C., & Lekakos, G. (2015). Demystifying the design of mobile augmented reality applications. *Multimedia Tools and Applications*, 74(3), 1045–1066.
- Lange, S. B., 2016. Trends in smart glasses 2016. Markkinaraportti Synoptik-järjestön sivuilla. Haettu 1.12.2021 osoitteesta <http://synoptik-fonden.dk/wpcontent/uploads/Trends-in-Smart-Glasses-2016.pdf>
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6(4), 239–242.
- Masood, T., & Egger, J. (2019). Augmented reality in support of Industry 4.0—Implementation challenges and success factors. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 58, 181–195.
- Masood, T., & Egger, J. (2020). Adopting augmented reality in the age of industrial digitalisation. *Computers in Industry*, 115, 103–112.
- Melville, N., Kraemer, K., & Gurbaxani, V. (2004). Information technology and organizational performance: An integrative model of IT business value. *MIS quarterly*, 283–322.
- Meyer, G. G., Främling, K., & Holmström, J. (2009). Intelligent products: A survey. *Computers in industry*, 60(3), 137–148.
- Michalos, G., Karagiannis, P., Makris, S., Tokçalar, Ö., & Chryssolouris, G. (2016). Augmented reality (AR) applications for supporting human-robot interactive cooperation. *Procedia CIRP*, 41, 370–375.

- Microsoft, n.d. Microsoftin verkkosivut. Haettu 1.12.2021 osoitteesta <https://www.microsoft.com/fi-fi/hololens/buy>
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A. & Kishino, F. (1995). Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Photonics for industrial applications*, 282–292.
- Milgram, P. & Colquhoun, H. (1999). A taxonomy of real and virtual world display integration. *Mixed Reality: Merging Real and Virtual Worlds*, 1, 1–26.
- Milgram, P. & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77(12), 1321–1329.
- Miščević, G., Tijan, E., Žgaljić, D., & Jardas, M. (2018). Emerging trends in e-logistics. 2018 41st international convention on information and communication technology, electronics and microelectronics (MIPRO), 1353–1358.
- Mourtzis, D., Vlachou, E., Zogopoulos, V., & Fotini, X. (2017). Integrated production and maintenance scheduling through machine monitoring and augmented reality: An Industry 4.0 approach. *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, 354–362.
- Narumi, T., Nishizaka, S., Kajinami, T., Tanikawa, T. & Hirose, M. (2011). Meta cookie : An illusion-based gustatory display. *Virtual and Mixed Reality- New Trends*, 260–269.
- NASA, 28.10.2012. Technology Readiness Level. Artikkelin NASA:n verkkosivuilla. Haettu 14.12.2021 osoitteesta [https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/technology\\_readiness\\_level](https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/technology_readiness_level)
- Palmarini, R., Erkoyuncu, J. A., Roy, R., & Torabmostaedi, H. (2018). A systematic review of augmented reality applications in maintenance. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 49, 215–228.
- Panetta, K. 5.11.2019. 5 Trends Emerge in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2018. Gartnerin verkkosivut. Haettu 20.11.2021 osoitteesta <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018>
- Peppard, J., & Ward, J. (2004). Beyond strategic information systems: towards an IS capability. *The Journal of Strategic Information Systems*, 13(2), 167–194.
- Perkins Coie, 2020. 2020 Augmented and Virtual Reality Survey Report. Markkinaraportti Perkins Coien verkkosivuilla. Haettu 27.11.2021 osoitteesta <https://www.perkinscoie.com/images/content/2/3/v4/231654/2020-AR-VR-Survey-v3.pdf>

- Porcelli, I., Rapaccini, M., Espíndola, D. B., & Pereira, C. E. (2013). Technical and organizational issues about the introduction of augmented reality in maintenance and technical assistance services. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(7), 257–262.
- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2017a). Why every organization needs an augmented reality strategy. *Harvard Business Review*, 95(6), 46–57.
- Porter, M.E. & Heppelmann, J.E. (2017b). How Does Augmented Reality Work? *Harvard Business Review*. 58.
- PTC. 2017. The State of Industrial Augmented Reality 2017. Haettu 1.6.2018 osoitteesta <https://www.ptc.com/-/media/Files/PDFs/Augmented-Reality/State-of-AR-Whitepaper.pdf>
- Quandt, M., Knoke, B., Gorltdt, C., Freitag, M., & Thoben, K. D. (2018). General requirements for industrial augmented reality applications. *Procedia Cirp*, 72, 1130–1135.
- Rauschnabel, P. A., Brem, A., & Ivens, B. S. (2015). Who will buy smart glasses? Empirical results of two pre-market-entry studies on the role of personality in individual awareness and intended adoption of Google Glass wearables. *Computers in Human Behavior*, 49, 635–647.
- Rauschnabel, P. A., Brem, A. & Ro, Y. (2015). Augmented reality smart glasses: Definition, conceptual insights, and managerial importance. Working paper, The University of Michigan-Dearborn.
- Regenbrecht, H., Baratoff, G., & Wilke, W. (2005). Augmented reality projects in the automotive and aerospace industries. *IEEE computer graphics and applications*, 25(6), 48–56.
- Rejeb, A., Keogh, J. G., Wamba, S. F., & Treiblmaier, H. (2021). The potentials of augmented reality in supply chain management: A state-of-the-art review. *Management Review Quarterly*, 71(4), 819–856.
- Rosales, J., Deshpande, S., & Anand, S. (2021). IIoT based augmented reality for factory data collection and visualization. *Procedia Manufacturing*, 53, 618–627.
- Rosen, R., Von Wichert, G., Lo, G., & Bettenhausen, K. D. (2015). About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 567–572.
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston consulting group*, 9(1), 54–89.
- Röltgen, D., & Dumitrescu, R. (2020). Classification of industrial Augmented Reality use cases. *Procedia CIRP*, 91, 93–100.
- Scurati, G. W., Gattullo, M., Fiorentino, M., Ferrise, F., Bordegoni, M., & Uva, A. E. (2018). Converting maintenance actions into standard symbols for

- Augmented Reality applications in Industry 4.0. *Computers in Industry*, 98, 68–79.
- Souder, W. E., Nashar, A. S., & Padmanabhan, V. (1990). A guide to the best technology-transfer practices. *The Journal of Technology Transfer*, 15(1–2), 5–16.
- Starner, T., Mann, S., Rhodes, B., Levine, J., Healey, J., Kirsch, D., Picard, R. W. & Pentland, A. (1997). Augmented reality through wearable computing. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 386–398.
- Syberfeldt, A., Holm, M., Danielsson, O., Wang, L., & Brewster, R. L. (2016). Support systems on the industrial shop-floors of the future—operators' perspective on augmented reality. *Procedia CIRP*, 44, 108–113.
- Syberfeldt, A., Danielsson, O., & Gustavsson, P. (2017). Augmented reality smart glasses in the smart factory: Product evaluation guidelines and review of available products. *Ieee Access*, 5, 9118–9130.
- Tatić, D., & Tešić, B. (2017). The application of augmented reality technologies for the improvement of occupational safety in an industrial environment. *Computers in Industry*, 85, 1–10.
- Treacy, M., & Wiersema, F. (1993). Customer intimacy and other value disciplines. *Harvard business review*, 71(1), 84–93.
- USPTO, 2021. Direct retinal projector. Patentti USPTO:n verkkosivulla. Haettu 27.11.2021 osoitteesta <https://patft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO2&Sect2=HITOFF&p=1&u=%2Fnethtml%2FPTO%2Fsearch-bool.html&r=1&f=G&l=50&co1=AND&d=PTXT&s1=%22direct+retinal+projection%22&OS=%22direct+retinal+projection%22&RS=%22direct+retinal+projection%22>
- Van Krevelen, D. W. F. & Poelman, R. (2010). A survey of augmented reality technologies, applications and limitation *The International Journal of Virtual Reality*, 9(2), 1–20.
- Van Lopik, K., Sinclair, M., Sharpe, R., Conway, P., & West, A. (2020). Developing augmented reality capabilities for industry 4.0 small enterprises: Lessons learnt from a content authoring case study. *Computers in Industry*, 117, 103208.
- Vaidya, S., Ambad, P., & Bhosle, S. (2018). Industry 4.0—a glimpse. *Procedia Manufacturing*, 20, 233–238.
- Weill, P. (1992). The relationship between investment in information technology and firm performance: A study of the valve manufacturing sector. *Information systems research*, 3(4), 307–333.
- Westerfield, G., Mitrovic, A., & Billinghamurst, M. (2015). Intelligent augmented reality training for motherboard assembly. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 25(1), 157–172.

- Wolterbeek, M. 21.6.2018. Exploring how to make virtual reality more accessible to women. Artikkele University of Nevada verkkosivulla. Haettu 14.12.2021 osoitteesta <https://www.unr.edu/nevada-today/news/2018/vr-sickness-in-women>
- Xpert Digital, 2021. Augmented reality (AR). Markkinaraportti Xpert Digitalin verkkosivulla. Haettu 27.11.2021 osoitteesta <https://xpert.digital/wp-content/uploads/2021/04/Augmented-Reality.pdf>
- Zhu, Z., Liu, C., & Xu, X. (2019). Visualisation of the digital twin data in manufacturing by using augmented reality. *Procedia Cirp*, 81, 898–903.
- Zubizarreta, J., Aguinaga, I., & Amundarain, A. (2019). A framework for augmented reality guidance in industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102(9), 4095–4108.