

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
School of Engineering Science
Tietotekniikan koulutusohjelma

Kandidaatintyö

Samu Suurinkeroinen

**LISÄTYN TODELLISUUDEN LAITEVAIHTOEHDOT ISOIMMILLE
KÄYTTÄJÄRYHMILLE 2019**

Työn tarkastaja: Tutkijatohtori Ari Happonen

Työn ohjaaja: Tutkijatohtori Ari Happonen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
School of Engineering Science
Tietotekniikan koulutusohjelma

Samu Suurinkeroinen

Lisätyn todellisuuden laitevaihtoehdot isoimmille käyttäjäryhmille 2019

Kandidaatintyö

2019

40 sivua, 2 taulukkoa

Työn tarkastajat: Tutkijatohtori Ari Happonen

Hakusanat: Lisätty todellisuus, päässä pidettävät näyttölaitteet, laitevertailu, valintamatriisi
Keywords: augmented reality (AR), head mounted display (HMD), device comparison, decision matrix

Lisätyn todellisuuden päässä pidettävien laitteiden laitevalikoima on muuttunut paljon vuodesta 2017. Tällöin julkaistiin viimeinen useampia tämän kategorian laitteita käsittelevä tutkimus. Tässä työssä vertailtiin 27 eri myynnissä olevaa, hiljattain poistunutta tai lähiaikoina myyntiin tulevaa laitetta, sekä tutkittiin ja kuvattiin näiden yleistä markkinatilannetta. Laitteiden tekniset tiedot ja ominaisuudet listattiin vertailutaulukkoon. Laitteiden ominaisuudet arvosteltiin ja painotettiin valintamatriisiin sen mukaan, kuinka hyvin ne tukevat useita eri käyttötapauksia. Korkeimmat kaksi arvosanaa saivat seuraavat neljä laitetta: Magic Leap One, ThirdEye X2 MR, Microsoft HoloLens 2 ja ThinkReality A6

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
School of Engineering Science
Degree Program in Computer Science

Samu Suurinkeroinen

Augmented reality devices for biggest user-groups in 2019

Bachelor's Thesis

40 pages, 2 tables

Examiners: D.Sc. (Tech.) Ari Happonen

Keywords: Keywords: augmented reality (AR), head mounted display (HMD), device comparison, decision matrix

Selection of head mounted augmented reality devices has changed a lot since 2017. Latest research that contained multiple devices from this category was published then. In this research we compared 27 devices that are either on sale, have recently been or will be on sale soon. Few current market parameters from this segment were gathered and presented. Specifications and features of these devices were listed into comparison table. Features and specifications were scored and weighted with following principle: more support it provided for different use-cases, higher were the given score. These were used to calculate total score. Two highest scores were shared by four devices: Magic Leap One, ThirdEye X2 MR, Microsoft Hololens 2 and ThinkReality A6.

ALKUSANAT

Työ on tehty Espoossa osana Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa aikamani suorittamiani tietotekniikan opintoja. Kiitos työni ohjaajalle Ari Haposelle, sekä Jaana Sandströmille ja hänen nimissä lähetetyn kirjeen suunnittelijoille ja opistojen vanhentumispäivämäärän asettaneille henkilöille. Ilman näitä henkilöitä tämä työ ei olisi valmistunut tähän päivään mennessä.

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	3
2	KIRJALLISUUSTUTKIMUS	5
2.1	LISÄTYN TODELLISUUDEN MÄÄRITELMÄ	5
2.2	LISÄTYN TODELLISUUDEN HISTORIA	6
2.3	LISÄTTYYN TODELLISUUTEEN LIITTYVIÄ KESKEISIÄ LAJITTELUTAPOJA.....	7
2.4	MUU AIHEESTA TEHTY TUTKIMUS.....	10
3	MENETELMÄKUVAUS.....	11
3.1	AINEISTON KERUU	11
3.2	AINEISTON ANALYSOINTI.....	11
4	KERÄTYN AINEISTON KÄSITTELY, VERTAILU JA ANALYSOINTI	12
4.1	MARKKINATILANNE RAJAUKSEEN KUULUVIEN LAITTEIDEN OSALTA	12
4.2	MARKKINOILLA OLEVAT PÄÄSSÄ PIDETTÄVÄT LISÄTYN TODELLISUUDEN LAITTEET JA NIIDEN EROAVAISUUDET.....	13
4.3	LAITTEIDEN PISTEYTTÄMINEN	18
5	TULOKSET JA KESKUSTELU.....	23
5.1	TULOKSET.....	23
5.2	KESKUSTELU	24
6	YHTEENVETO.....	26
	LÄHTEET.....	28

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

ANSI	American National Standards Institute
ANT	Adaptive Network Topology
AR	Augmented reality
FoV	Field of View
GHz	GigaHertz
GPS	Global Positioning System
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
HMD	Head Mounted Display
IP	International Protection Rating
MR	Mixed reality
ODG	Osterhout Design Group
RAM	Random-access memory
SLAM	Simultaneous localization and mapping
ToF	Time of Flight
USB	Universal Serial Bus
Wi-Fi	Wireless Fidelity

1 JOHDANTO

Lisätyn todellisuuden käyttötapauksia näkyy päivittäisessä elämässä yhä enenevässä määrin. Näitä ovat esimerkiksi Snapchatin reaaliaikaiset kuvafiltterit, Pokemon Go -peli tai auton tuulilasille heijastettu tieto auton nopeudesta ja kuljetusta matkasta. Nämä yksityisille käyttäjille suunnatut käyttötapaukset on toteutettu usein älypuhelimilla, ja edustavat yhtä osaa lisätyn todellisuuden sovellutuksista. Tässä tutkimuksessa keskitytään älypuhelimien tai autoissa käytettävien projisointilaitteiden sijaan päässä pidettäviin lisätyn todellisuuden laitteisiin, jotka mahdollistavat erilaisten 3D mallien upottamisen reaali maailman näkymään [1].

Lisätty todellisuus on osa laajempaa sekoitetun todellisuuden käsitettä (Mixed Reality, MR). Sekoitettu todellisuus pitää sisällään lisätyn todellisuuden, jossa tosielämän näkymään on tuotu virtuaalisia elementtejä, ja lisätyn virtuaalisuuden, jossa virtuaaliseen ympäristöön on sekoitettu todellisuuden elementtejä, sekä kaikkea näiden väliltä [2]. Termiä sekoitettu todellisuus käytetään nykyään kuitenkin tieteellisen kirjallisuuden ulkopuolella kuvaamaan lisätyn todellisuuden laitetta, jossa käyttäjä voi olla reaaliaikaisessa vuorovaikutuksessa lisätyn todellisuuden elementtien kanssa [3], [4].

Tässä työssä keskitytään tutkimaan päässä pidettäviä lisätyn todellisuuden laitteita. Tutkimukseen on valittu sellaiset laitteet, jotka ovat vuonna 2019 olleet markkinoilla, ovat edelleen saatavilla tai ovat lähiaikoina tulossa markkinoille. Tutkimus keskittyy tarkastelemaan näiden laitteiden teknisiä ominaisuuksia. Laitteiden ohjelmistot ja käyttöliittymät eivät ole tämän tutkimuksen piirissä, eikä vertailuilla laitteilla tehdä käyttötöstejä. Tutkimuksen on tarkoitus vastata seuraavaan päätutkimuskysymykseen: Mitkä tai mikä laitteista sopivat ominaisuuksiensa puolesta parhaiten useimmalle eri käyttäjäryhmälle. Tämän lisäksi tutkimuksen on tarkoitus myös vastata seuraavaan kahteen muuhun ala-tutkimuskysymykseen: Miten vertailtavat laitteet eroavat toisistaan sekä mikä on valitun tuoteryhmän markkinatilanne vuonna 2019.

Viimeisin useamman lisätyn todellisuuden laitteen kattanut julkaisu on vuodelta 2017 [5]. Tämän jälkeen markkinoille on tullut paljon uusia laitteita ja monet tuohon aikaan markkinoilla olevat tuotteet ovat poistuneet markkinoilta. Tämän lisäksi kyseinen tutkimus rajoittui tarkastelemaan laivanrakennusteollisuuden käyttöön sopivia laitteita. Tämän

tutkimuksen tarkoitus on kattaa laajempi otanta laitteita, sekä tarjota päivitetty lista saatavilla olevista laitteista. Listauksen lisäksi vertailtavat laitteet arvostellaan sen mukaan, kuinka hyvin ne soveltuvat useisiin eri käyttötapauksiin.

Lisätyn todellisuuden laitteita on toistaiseksi käytetty kuluttaja puolella lähinnä viihde käyttöön, mutta teollisella puolella tietoperusteisten palveluiden käyttö ja niiden lisääntyminen vie työn tuottavuuteen tähtääviä lisätyn todellisuuden ratkaisuja vauhdilla eteenpäin [6]. Tuottavuuden kasvusta toimii esimerkkinä avaruusteollisuudessa toimiva Lockheed Martin, joka saavutti lisätyn todellisuuden laitteilla yksistään yhtä asennuskiinnikettä kohti 38 dollarin säästöt. Vuosittain yhtiö tilaa näitä kiinnikkeitä 2 miljoonaa kappaletta [7]. Tämän tutkimuksen tulokset voivat auttaa muita laitteita hankkimassa olevia tai niistä kiinnostuneita tahoja rajaamaan tarkemmat tutkimukset vain niihin laitteisiin, joista löytyvät käyttötapauksiin vaadittavat ominaisuudet.

2 KIRJALLISUUSTUTKIMUS

Tämä luku pitää sisällään lyhyen katsauksen lisätyn todellisuuden historiasta ensimmäisistä lisätyn todellisuuden laitteiden ilmenemismuodoista nykypäivään. Tässä kappaleessa esitellään myös yleisimpiä lisätyn todellisuuden käsitteitä, sekä muutamia käsitteitä lisätyn todellisuuden ympäriltä. Viimeisenä käsitellään tehtyä kartoitustutkimusta päässä pidettävistä lisätyn todellisuuden laitteista vuodelta 2017. Luku kuvaa, miten nykytilanteeseen on päästy, pohjustaen nykyhetken laitteiden tarkastelua. Tässä kappaleessa esiteltyjä termejä ja luokitteluja käytetään myöhemmin itse tutkimuksessa. Myös itse tutkittavien laitteiden joukko on rajattu käyttämällä tieteellisessä kirjallisuudessa ja tässä luvussa esiteltyjä luokitteluja.

2.1 Lisätyn todellisuuden määritelmä

Lisätty todellisuus (Augmented reality, AR) ollut olemassa pitkään ajatuksena ja toteutettuina sovelluksina, ennen termin tarkempaa määrittelyä. Milgram [8] määrittää lisätyn todellisuuden osaksi sekoitettua todellisuutta, joka koostuu lisäystä todellisuudesta, että lisäystä virtuaalisuudesta. Sekoitettu todellisuus on osa Milgramin todellisuus-virtuaalisuus jatkumoa, jonka toisessa ääripäässä on todellinen maailma ja toisessa kokonaan virtuaalinen. Lisätyssä todellisuudessa Milgramin mukaan oikean maailman näkymään on lisätty virtuaalista tietokonegrafiikkaa, kun taas lisätyssä virtuaalisuudessa virtuaalimaailmaan on tuotu elementtejä todellisesta maailmasta [2].

Toinen hyvin yleisesti siteerattu määritelmä, lisätylle todellisuudelle on Azumanin määritelmä vuodelta 1997. Lisätyn todellisuuden on täytettävä tämän määritelmän mukaan seuraavat kolme ehtoa: Todellisen ja virtuaalisen yhdistäminen todellisessa ympäristössä, Interaktiivista reaaliajassa sekä se että se liittyy todelliseen kolmiulotteiseen maailmaan. Azuman määrittely lisäystä todellisuudesta ei rajoitu myöskään vain näköaistiin, vaan voi koostua myös muista aisteista, kunhan kolme edellä mainittua ehtoa täyttyvät. [9]

Tekniikan kehityttyä vuodesta 1997, lisätyn todellisuuden määritelmä on laajentunut kuvaamaan uusia lisättyyn todellisuuteen liittyviä osa-alueita. Yhtenä tällaisena esimerkkinä on esineiden tai asioiden virtuaalinen poistaminen todellisesta ympäristöstä. Tällöin käyttäjälle näyttäytyvä maailma esiintyy, kuin tahdottua objektia ei olisi olemassa

[10]. Esineiden poistaminen tunnetaan tieteellisessä kirjallisuudessa myös termillä häivytetty todellisuus (diminished reality). Yksi tapa todellisuudessa olevien esineiden poistamiseen on käyttää useampaa eri kuvakulmista otettua kuvaa esineen takana olevan taustan määrittämiseksi, ja luomalla niistä virtuaalinen kuva todellisuudessa olevan esineen tilalle. [11]

2.2 Lisätyn todellisuuden historia

Tässä luvussa käsitellään lyhyesti muutamia ensimmäisiä keksintöjä, jotka ovat oleellisia niiden laitteiden osalta, joita tässä tutkimuksessa vertaillaan. Nämä ovat, ensimmäinen päässä pidettävä lisätyn todellisuuden laite, ensimmäinen sovellus, joka mahdollisti interaktiivisuuden lisätyn todellisuuden kanssa, ensimmäinen lisätyn todellisuuden laite, jonka pohjalta lisätyn todellisuuden laitteita kutsutaan kyseisellä termillä, sekä ensimmäinen mobiili ulkokäyttöön soveltuva päässä pidettävä lisätyn todellisuuden laite.

Ensimmäinen tieteellinen julkaisu päässä pidettävästä lisätyn todellisuuden laitteesta on vuodelta 1968. Ivan Sutherland, joka toimi tuohon aikaan Harvardin yliopistossa Utahissa, kehitti yhdessä oppilaidensa kanssa ensimmäisen prototyypin päässä pidettävästä lisätyn todellisuuden laitteesta. Laitteen läpi saattoi tarkkailla olemassa olevaa huonetta, sekä ympärillä olevaa kolmiulotteista grafiikkaa. Laite käytti puolihopeoituja peilejä optisena yhdistelijänä, joka mahdollisti käyttäjän nähdä virtuaalisesti luodut objekti sekä ympärillä olevan huoneen samanaikaisesti. Vaikka laite oli päässä pidettävä, sen kanssa liikkuminen oli hyvin rajoitettua. Laite oli kiinnitettynä huoneen katosta ja laitteen kanssa saattoi liikkua noin metrin säteelle kattoripustuksen kohdasta sekä niin että laitetta saattoi kallistaa vain 30-40 astetta korkeussuunnassa. [12]

Lisätyn todellisuuden virtuaalisten objektien kanssa kanssakäymisen mahdollisti ensimmäisenä Myron Krueger osana taidenäyttelyä Milwaukeeen taidemuseossa. Teoksessa Videoplace käyttäjä seiso huoneessa, jonka seinälle projisoitiin digitaalisesti tuotettu silhuetti käyttäjästä. Silhuetin ympärillä oli tietokoneella luotuja virtuaalisia objekteja, joiden kanssa käyttäjä saattoi olla vuorovaikutuksessa, ilman erillisiä ohjaiminlaitteita. [13]

Termi lisätty todellisuus esiintyi ensimmäisen kerran tuossa muodossa (englanniksi augmented reality) Thomas Caudelin ja David Mizellin tutkimusraportissa, jossa he

kehittivät Boeingilla lentokoneen valmistuksen yhteydessä käytettävää laitetta, jolla asentajat saisivat ohjeita lentokoneen valmistuksen eri vaiheisiin. Laitteen tarkoituksena oli vastata lentokoneen valmistuksessa tarvittavan lisääntyneen tietomäärän hallintaan, sekä vähentää pitkää aikaa, joka asennuksessa kului ohjeiden ja mallien tarkasteluun. Laite oli niin ikään päässä pidettävä, muttei kuitenkaan niin vahvasti yhteen paikkaan sidottu kuin Sutherlandin vastaavanlainen laite. [14]

Ensimmäinen mobiili, ulkokäyttöön soveltuva lisätyn todellisuuden laite kehitettiin Steven Fiinein toimesta vuonna 1996. Laitteen tarkoituksena oli selvittää kuinka turisteja voisi auttaa navigoimaan tuntemattomassa ympäristössä. Toisin kuin aikaisemmin esitellyt laitteet, joissa käyttäjän paikannus perustui rakennuksen sisälle asennettuihin sensoreihin, ulkokäyttöön suunnitellussa laitteessa näitä ei voitu luonnollisesti käyttää. Sen sijaan paikannukseen ja käyttäjän sijaintiin käytettiin tässä sovelluksessa kiihtyvyyssantureita, gyroskooppia, digitaalista kompassia, sekä GPS (Global Positioning System) signaalia. Laitteisto koostui päässä pidettävistä laseista, sekä selkärepussa olevasta tietokoneesta, akuista ja GPS antennista. Feiner arvio tuolloin, että mobiilin kannettavan tietokoneen tulisi olla kooltaan sen aikaisen Walkmanin tai MP3 soittimen kokoluokkaa, jotta laite voisi olla käytännöllinen. [15]

2.3 Lisättyyn todellisuuteen liittyviä keskeisiä lajittelutapoja

Tässä alaluvussa käsitellään lyhyesti yleisimpiä eri tieteellisessä kirjallisuudessa määriteltäviä lisätyn todellisuuden luokittelutapoja. Valitut luokittelutavat ovat sellaisia, joita tullaan tarkastelemaan tässä tutkimuksessa myöhemmin valittujen laitteiden osalta. Käsiteltävät luokittelutavat ovat: käyttökohteet, luokittelu näytön sijainnin mukaan, laitteiden kommunikointi ihmisaistien kanssa, ihmisen kommunikointi laitteiden kanssa, laitteiden käyttämät paikannustekniikat, sekä ympäristön kartoitus.

Käyttökohteiden osalta Van Krevelen jakaa eri käyttökohteet viiteen pääkategoriaan: informatiivinen, teollisuus, lääketiede, viihde, toimisto ja koulutus. Informatiivisessa käytössä laite voi toimia esimerkiksi henkilökohtaisena avusteena tai navigointiapuvälineenä. Museokäytössä sillä voidaan näyttää käyttäjälle virtuaalista sisältöä, kuten historiallisten tapahtumien simulointia [16]. Teollisuuden käyttötapaukset voivat vaihdella eri teollisuuden aloilla kokoonpanosta, laitteiden huoltoon ja laadun

tarkkailuun. Teollisessa maanviljelyssä lisätyn todellisuuden laite voi toimia lehtivihreän analysoinnissa kalliimpien kemikaalisten menetelmien sijaan [17]. Lääketieteessä lisätyn todellisuuden laitteet voivat toimia esimerkiksi lisäinformaation lähteenä, kommunikointi- tai dokumentointivälineenä [18]. [19]

Näytön sijainnin perusteella laitteet voidaan jakaa seuraavaan kolmeen luokkaan: päässä pidettävät (Head Mounted Displays HMD), kädessä pidettävät, sekä tilaan sijoitettavat. Älypuhelimet, joissa on ladattuna AR sovellus, toimii esimerkkinä kädessä pidettävästä laitteesta. Tilaan sijoitettu lisätyn todellisuuden esimerkkinä toimii huoneeseen asennettu näyttöpäätte, josta voi tarkastella tilassa olevaa oikeaa objektia, yhdistettynä lisätyn todellisuuden elementeillä. [20, ss. 71–92].

Laitteen kommunikointi ihmisen suuntaan voi tapahtua usealla eri aistilla: Maku, tuoksu, kosketus, ääni sekä näkö. Näön osalta van Krevelen ja Poelman jakavat kuvan luonnin neljään eri kategoriaan: Optisesti läpikatsottaviin näyttöihin, monitoreihin, jotka ovat silmien edessä ja johon yhdistetään todellisuus ja lisätyn todellisuuden objektit samaan kuvaan, sekä lisätyn todellisuuden elementin projisointi oikean objektin pinnalle, joko käyttäjässä kiinni olevan tai ulkoisen projektorin toimesta. Neljäntenä luokkana he mainitsevat limitetyn näytön, jossa käyttäjän näkökentän viereen on asetettu erillinen näyttö, joka tuo lisättyä todellisuutta käyttäjän näkökenttään. [19]

Ihmisen kommunikointi laitteen suuntaan, on niin ikään luokiteltu kirjallisuudessa. Billinghurst jakaa laitteet seuraavasti: liikkuminen tilassa, fyysiset syöttölaitteet ja ohjaimet, fyysisten ympäristössä olevien esineiden käyttö, eleet, useamman metodin yhdistelmät sekä ajatukseen pohjautuvat. Fyysisten syöttölaitteiden ja ohjainten osalta Billinghurst mainitsee ihmiseleiden seuraamisen niiden avulla olevan yleisin käyttötapa kanssakäymiseen lisätyn todellisuuden kanssa. Eleiden käytöstä Billinghurst nostaa kirjassaan käsien käytön ilman erillisiä laitteita interaktion välineenä. Tätä tekniikka on tutkittu pitkään, mutta jonka käyttäminen on mahdollistunut vasta hiljattain tekniikan kehityttyä. [21, ss. 165–178]

Lisätyn todellisuuden laitteiden käyttäjän suunnan määrittämiseen ja paikantamiseen voidaan käyttää useita eri tekniikoita. Rolland, Baillot ja Goon jaottelee käytetyt tekniikat kuuteen eri pääluokkaan:

1. Time of Flight (ToF)
2. Spatial scan
3. Inertial sensing
4. Mekaaniset linkitykset
5. Vaihe-ero havainnointi
6. Direct field sensing
7. Hybridi järjestelmät

1. Time of Flight (ToF), lentoaika, on tapa, jossa mitataan säännöllisin väliajoin aikaa, joka kuluu signaalin siirtymiseen kohteesta havainnointiyksiköihin. Näiden mitattujen aikojen pohjalta voidaan laskea tarkasteltavan kohteen nopeus ja paikka. Signaalina voi toimia ultra-ääni, infrapunavalon tai GPS signaali. 2. Spatial scan, tilan skannaus, on tapa, jossa optisella kameralla tai kameroilla havainnoidaan tahdotun esineen sijainti esimerkiksi käyttäen ympärillä olevia tunnettuja referenssipisteitä (inside-out menetelmä) tai käyttäen tiettyihin referenssipisteisiin asennettuja kameroita havainnoimaan haluttua objektia (outside-in). 3. Inertial sensing, on tapa, jossa hyödynnetään massan hitautta liikkeen muutoksien mittaamiseen kiihtyvyyssanturilla tai kallistusten mittaamiseen käyttäen gyroskooppeja. [22]

4. Mekaaniset linkitykset, perustuu kohteen sijainnin laskemiseen, kun tunnetaan mekaanisten linkitysosien pituudet ja niiden asennot toisiinsa nähden. 5. Vaihe-ero havainnointi, perustuu kohteen lähettämien signaalien analysointiin, tutkimalla signaalien vaihe-eroja suhteessa saman taajuiseen tunnetusta pisteestä saatuun referenssi signaaliin. 6. Direct-field sensing, on termi mittaamenetelmille, jossa sijainnin ja asennon mittaamiseksi käytetään hyväksi joko itse luotuja paikallisia magneettikenttiä, maapallon magneettikenttää, tai maan vetovoimaa. 7. Hybridi järjestelmät ovat paikannusmenetelmiä, jossa paikan ja sijainnin mittaamiseen hyödynnetään useampaa eri teknologiaa. [22]

Edellisessä kappaleessa mainitut suunnan ja paikannuksen menetelmät eivät teknisten toteutustapojen puolesta määritä onko ympäristö, jossa paikantamista tehdään ennalta tunnettu vai ei, vaikkakin esimerkiksi ToF -havainnointi vaatii toimiakseen tiedot sensorien sijainneista tilassa. Lisätyn todellisuuden sovellukset vaativat kuitenkin usein tietoja toimintaympäristöstä ja sen elementeistä ja niiden sijainneista toimiakseen. Simultaneous localization and mapping (SLAM) -menetelmä mahdollistaa lisätyn todellisuuden sovellutukset sellaisissa tilanteissa, joissa tila ei entuudestaan ole määritelty lisätyn todellisuuden laitteille. SLAM menetelmän avulla ympärillä olevasta tilasta luodaan reaaliaikaisesti tilakartta ympäristöä havainnoivien kameroiden avulla. Reaaliaikaisen tilakartan luonnin lisäksi havaintoyksikön sijaintia laskentaan samanaikaisesti tässä tilassa ja tilassa havaittuihin objekteihin nähden. [23]

2.4 Muu aiheesta tehty tutkimus

Fraga-Lamas, Fernández-Caramés, Blanco-Novoa ja Vilar-Montesinos käsittelevät tutkimuksessaan teollisuuden käyttöön suunnattuja päässä pidettävien lisätyn todellisuuden sovelluksia. Tutkimuksessa käsitellään yleisellä tasolla lisätyn todellisuuden keskeisimpiä komponentteja ja teollisuuteen linkittyviä käyttökohteita. Tutkimus rajautuu tarkastelemaan teollisuuden käyttötapauksista laivanrakennusta, siihen liittyviä käyttötapauksia ja tarkastelemaan markkinoilla olevia laite- ja sovellusvaihtoehtoja, sekä itse käyttöön vaadittavan arkkitehtuurin ratkaisuja.[5]

Itse päässä pidettävien laitteiden osalta, tutkimus tyytyy listamaan laitteiden teknisiä ominaisuuksia, sekä listaamaan taulukkoon sen hetkisiä laitevaihtoehtoja, ilman tarkempaa vertailua laitteiden välillä tutkimuksen fokuksen ollessa kokonaisissa järjestelmissä yksittäisten laitteiden sijaan. Tutkimuksen päätteeksi todetaan, että päässä pidettävät laitteistot eivät ole tutkimuksen kirjoitushetkellä, joulukuussa 2017, vielä teknisesti tarpeeksi kehittyneitä, jotta laitteita voisi ottaa laajalla rintamalla käyttöön laivanrakennusteollisuudessa. [5]

3 MENETELMÄKUVAUS

Tässä työssä pohjaututtiin tutkimusmenetelmänä laadulliseen tutkimusmenetelmään. Siinä missä laadullinen tutkimus ei ennalta aseta hypoteeseja tai oletuksia tutkimuksen tuloksista, ei sellaisia ollut asetettu tässäkään työssä [24]. Seuraavassa kahdessa luvussa on kuvattu kuinka laadullisen tutkimuksen aineiston keruun ja analysoinnin periaatteita hyödynnettiin osana tätä tutkimusta.

3.1 Aineiston keruu

Aineiston keruussa noudatettiin kvalitatiivista aineiston keruuta, joka pohjautuu valmiisiin aineistoihin [25, s. 14]. Tässä työssä lisätyn todellisuuden valmiina aineistoina käytettiin pääasiallisesti laitevalmistajien verkkosivuja, joissa laitteita on esitelty. Osassa laitteita oli myös saatavilla erikseen laitteen esitteitä, joissa oli listattuna laitteiden tekniset tiedot. Pienessä osassa tapauksia valmiina aineistoina toimivat verkkojulkaisut tietystä valmistajan sivuilta saatavien tietojen lisänä.

3.2 Aineiston analysointi

Aineiston analysoinnissa käytettiin laadullisen tutkimukseen kuuluvaa koodausta ja kvantifioimista. Koodauksessa aineistossa luodaan induktiivisesti luokkia, tässä tapauksessa tarkastellusta aineistosta luotiin laitteiston sijainnin osalta uusia luokkia, sen sijaan että jaotteluun olisi kyseissä tapauksessa yritetty käyttää jo olemassa olevia luokitteluja [26]. Kvantifioinnissa tarkasteltavien analysointiyksiköiden ominaisuudet listataan taulukkoon vertailua varten [27]. Tässä työssä analysointiyksikköinä toimi lisätyn todellisuuden päässä pidettävät laitteet, ja ominaisuuksina näiden laitteiden sekä tekniset että käyttöön liittyvät tiedot.

4 KERÄTYN AINEISTON KÄSITTELY, VERTAILU JA ANALYSOINTI

Tässä luvussa vastataan tutkimuskysymyksiin kolmen eri pääluvun alla. Ensimmäisessä luvussa käsitellään lisätyn todellisuuden markkinatilannetta myynnin, investointien ja käyttäjämäärien osalta. Toisessa luvussa käsitellään valintakriteereillä valittujen laitteiden eroja, niin käyttötapojen, kuin laitteiston osalta, sekä listataan vertailuun mukaan valitut laitteet vertailutaulukkoon. Viimeisessä luvussa esitetään mitkä verratuista laitteista sopii ominaisuuksiensa puolesta useimmille käyttäjäryhmille. Ominaisuuksiin perustuva pisteytystaulukko esitetään tässä luvussa, eritellään laitteiden arvosteluperusteet ja eri osa-alueiden painoarvot kokonaisarvosanan määrittämisessä.

4.1 Markkinatilanne rajaukseen kuuluvien laitteiden osalta

Lisätyn todellisuuden markkinoita tarkastellaan markkinatutkimusyhtiöiden raporteissa lähes poikkeuksetta yhdessä virtuaalitodellisuuden markkinoiden kanssa. Vuoden 2018 VR ja AR -laitteiden yhteenlasketun dollarimääräisen myynnin ennustettiin samaisen vuoden joulukuussa nousevan yli 12,1 miljardiin dollariin [28]. Vertailuna, älypuhelinien vastaava myynti kyseisenä vuotena oli 522 miljardia dollaria [29]. AR laitteiden pientä osuutta kuvaa hyvin se, että esimerkiksi vuoden 2019 ensimmäisellä kvartaalilla, VR laitteiden osuus, AR ja VR laitteiden yhteenlasketusta kokonaismyynnistä, oli yli 96% [30].

Investointien osalta lisätyn todellisuuden teknologiaan sijoitettiin, vuoden aikajaksolla, välillä Q3/2017-Q3/2018, 7,2 miljardia dollaria. Suurimpana yksittäisenä investoinnin osa-alueena, neljän miljardin dollarin investoinneilla, oli konenäkö ja lisätyn todellisuuden mahdollistava tekniikka. Toiseksi suurimpana oli puolestaan päässä pidettävät lisätyn todellisuuden laitteet, reilun miljardin dollarin investoinneilla. Kolmantena pelikehitys 400 miljoonalla. Neljäntenä, mainonta ja markkinointi, 250 miljoonan osuudella. Digi-Capitalin seuraamien muun 22 AR sektorin investointien määrät vaihtelivat puolestaan hieman alle sadan miljoonan investoinneista muutamien miljoonien investointeihin. [31]

Käyttäjämäärissä, huhtikuun 2019 tilanteen perusteella, AR HMD laitteita valmistavista yrityksistä kärkipaikkaa pitää Microsoft Hololens 50 000 laitteellaan. Todellista

käyttäjämäärää ja käyttöastetta on vaikea arvioida johtuen siitä, että käytössä olevia laitteita voivat käyttää useat eri henkilöt [32]. Microsoftin jälkeen käyttäjämääriltään suurimpia yrityksiä ovat Vuzix ja Google kymmenillä tuhansilla käyttäjillä. Microsoft tulee tämän hetkisten tietojen mukaan kasvattamaan eroa kilpailijoihin Yhdysvaltojen armeijan kanssa tehdyn, julkisen sopimuksen myötä. Sopimuksen perusteella Microsoft tulee toimittamaan armeijalle 100 000 uutta Microsoft HoloLens 2 -laitetta. [33]

Lisätyn todellisuuden päässä pidettävien laitteiden valmistajien osalta markkinoilla on nähty viimeisen kahden vuoden aikana varsin paljon vaihtuvuutta. Markkinoille on tullut paljon uusia yrityksiä, jotka ovat muutaman viime vuoden aikana tuoneet myyntiin vasta ensimmäisen päässä pidettävän lisätyn todellisuuden laitteen, tai ovat vasta julkaisseet sellaisen, mutta joka ei ole vielä päätyntä valmistus- ja toimitusasteelle. Epsonia, Daqria, Googlea, Lenovoa, Microsoftia ja Vuzixia lukuun ottamatta, muut vertailuun valittujen lasien valmistajat kuuluvat edellä mainittuun ryhmään. Toisaalta markkinoilta on poistunut viimeisen kahden vuoden aikana useita AR HMD lasien valmistajia, joko taloudellisten haasteiden, konkurssin tai fokuksen vaihdon seurauksena. Näihin valmistajiin lukeutuu mm. Intel, Sony, Avegant, Meta ja ODG (Osterhout Design Group) [34]–[38]. Vaihtuvuutta valmistajien listaan tuo osalta tuo myös Google, joka vuonna 2015 lopetti yksityiskäyttäjille suunnattujen lasien myynnin, mutta toi myyntiin vuonna 2017 yrityskäyttäjille suunnatun laitteen [39].

Markkinaennusteet AR ja VR markkinoiden yhteisestä kehityksestä vaihtelee markkinatutkimusyhtiöittäin. Vuodesta 2016 vuoteen 2019 eri markkinatutkimusyhtiöiden tekemien arvioiden mukaan markkinat olisivat vuonna 2021-2025 väillä 34 - 547 miljardia per vuosi [40]. Samoin lisätyn todellisuuden markkinoiden oletetaan kasvavan virtuaalitodellisuutta enemmän. Consultancy.uk markkinatutkimusyhtiön kesäkuussa 2018 julkaistun arvion mukaan VR:n markkinat vuonna 2022 voisivat olla noin 18 miljardin suuruiset, kun AR markkinat samana vuotena olisivat 161 miljardin suuruiset [41].

4.2 Markkinoilla olevat päässä pidettävät lisätyn todellisuuden laitteet ja niiden eroavaisuudet

Kaikki vertailuun valitut laitteen muodostavat käyttäjälle lisättyä todellisuutta vähintään näköaistin avulla. Eri valmistajat ja mukana olevat laitteet tekevät tämän käyttäen joko

näkökentässä olevaa näyttöpaneelia, aaltojohdintekniikalla, tai käyttäen heijastusta. Viimeksi mainittu on vertailluista laitteissa yleisin. Aluetta näkökentässä, johon laitteen on mahdollista lisätä lisätyn todellisuuden elementtejä, mitataan laitteiden osalta asteina näkökentässä ja tästä arvosta käytetään lyhennettä FOV (Field of View). Arvo vaihtelevat laitteissa 11:ta asteesta 96:een asteeseen. Näkökentän laajuuden lisäksi isoja eroja vertailtujen laitteiden osalta löytyy näyttökentän potentiaalisesta tietosisällöstä, näytettyjen pikseleiden määrästä, sekä tämän alueen muodosta. Ero isoimman tarkkuuden tarjoavan ja puolestaan pienimmän pikselimäärän välillä on vertailtujen laitteiden osalta 72 kertainen, 40 000 pikselistä 2,88 miljoonaan pikseliin. Näytön päivitystaajuus kuvaa per sekunti vertailluissa laitteissa vaihtelee välillä 30 ja 90. Jakauma näyttöjen määrässä jakautuu varsin tasan puoleen, eli noin puolet laitteista muodostavat näkymän vain yhdelle silmälle, kun toinen puoli laitteista muodostaa kuvan molemmille silmille.

Näköaistiin pohjautuvan lisätyn todellisuuden elementtien luonnin lisäksi, yli puolesta laitteista löytyy vähintään yksi kaiutin tai audio ulostulo mahdollistaen äänellä toteutetun lisätyn todellisuuden elementin luomiseen. Kolmessa laitteessa on myös ominaisuutena haptinen palaute, joka näissä tapauksissa on toteutettu tärinällä. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan tarkasteltu täyttääkö äänen ja haptisten elementtien käyttäminen näissä laitteissa Azuman lisätyn todellisuuden määritelmän [9].

Vertailtavien laitteiden osalta laitteiden käyttötavat vaihtelevat suuresti. Joissain laitteissa käyttäjä ei käytön yhteydessä anna lainkaan syötteitä, vaan laitteen näyttämä sisältö riippuu esimerkiksi käyttäjän sen hetkisestä sijainnista ja liikkumisesta tilassa. Syötteitä vastaanottavat laitteet puolestaan voivat ottaa niitä vastaan yhdellä tai useammalla tavalla. Vertailluissa kosketukseen perustuvia syötteitä voi laitteesta riippuen antaa langattomien tai langallisten ohjainten kosketuspinnoina ja painikkeilla, laseissa olevien painikkeiden ja kosketuspintojen avulla, sekä laitteeseen liitetyn älypuhelimien kosketusnäytön avulla. Eleisiin perustuvat syötetavat ovat puolestaan sormieleet lasien lähettyvillä, käsien liikuttelu seurantakameroiden näköpiirissä, sekä katse-eleet. Tämän lisäksi monille laitteille on mahdollista antaa syötteitä äänikomennoilla.

Laitteistokomponentteina käsitellään tässä kappaleessa sensoreita, suorittimia, muistia, tallennustilaa ja laitteiden liitettävyyttä. Vertailtavista laitteista löytyy yhteensä yhtätoista

eri asiaa mittaavaa sensoria, jotka ovat seurantakamera, gyroskooppi, kiihtyvyyssanturi, digitaalinen kompassi, GPS, barometri, etäisyys sensori, infrapunasensori, magneettikenttäsensori, valoissensori ja mikrofoni. Erityyppisten sensorien määrä per laite vaihtelee verratuissa kolmen ja kahdeksan välillä. Prosessoriyksikön osalta vain 16 valmistajaa on julkaissut näitä tarkempia tietoja. Osa laitevalmistajista kertoo käyttämänsä mobiilialustan, joka tietyissä tapauksissa määrittää myös prosessori- ja grafiikka suorittimen, toiset taas ilmoittavat vain tietoja prosessorista ja grafiikkasuorittimesta. RAM (Random-Access Memory) muistin määrä niissä laiteissa, joissa valmistaja on ilmoittanut määrän, vaihtelee yhden ja kahdeksan gigatavun välillä, kun taas tallennustilan vastaavat määrät vaihtelevat kahdeksan ja 128 gigatavun välillä. Osassa laitteissa ei ole suorittimia ollenkaan, vaan ne perustuvat laitteisiin liitettävän isäntälaitteen laitteistoon. Liitettävyyden osalta vertailuissa laitteissa on yhdeksää eri fyysistä tai langatonta liitännäismahdollisuutta, kun eri USB (Universal Serial Bus) liitännäistyyppisiä ja langattomien yhteyksien eri versioita ei pidetä omina liitettävyyystapoina.

Vertailuissa laitteissa komponenttien ja suorittimien sijainnin osalta on havaittavissa viisi eri kategoriaa. Ensimmäisessä sensorit, suorittimet ja lasien tarvitsemat akut on sijoitettu kaikki päässä pidettäviin lasihin ja niiden sankoihin. Toisessa kategoriassa kaikki laitteisto on rakennettu päähineeseen, jossa laitteen paino lepää tasaisemmin päähineen tai päähineen ympärillä olevan kehikon varassa. Kolmannessa käyttäjällä on päässään joko pelkät lasit tai lasit osana päähinettä, sekä tämän lisäksi erikseen mukana kuljetettava laskenta-, akusto- tai näiden yhdistelmäyksikkö. Neljäs kategoria koostuu lasista ja liitettävästä älypuhelimesta, joka toimii laitteen laskentayksikkönä. Viidennessä älypuhelimien sijasta liitettävä laite on tietokone. Osa vertailuista laitteista kuuluu kahteen eri kategoriaan, jossa on erillinen akustolaite ja tämän lisäksi laskenta tehdään liitetyn älypuhelin avulla. Toinen esimerkki kahden kategorian laitteesta on lasit, jotka voidaan liittää joko tietokoneeseen tai älypuhelimeen.

Muita laitteiden ominaisuuksia ovat laitteiden paino, akuston koko ja kesto käytössä, hinta ja julkaisuvuosi. Painon osalta laitteiden kokonaispaino erilliset yksiköt mukaan lukien vaihtelevat 36 grammasta 808 grammaan, päässä olevien laitteiden osalta puolestaan 36 grammasta 579 grammaan, keskiarvon ollessa näissä 176 grammaa. Akuston koon ja kestävyuden osalta 27:stä laitteesta 20:stä on kirjoitushetkellä tiedossa joko akuston koko

tai valmistajan ilmoittama käyttöaika tunneissa. Hintojen osalta kallein vertailtu laite Daqri maksaa vajaa 8000€ laitteelta, halvin hieman yli 450€. Vertailtujen laitteiden julkaisuvuodet vaihtelevat puolestaan vuodesta 2015 tähän vuoteen. Nyt saatavilla olevista laitteista, julkaisuvuodeltaan vanhin on vuodelta 2016, uusin puolestaan tältä vuodelta.

Suurimmassa osassa laitteita, valmistaja ei erittele erikseen laitteiden kohderyhmiä tiettyyn osa-alueeseen, kuten teollisuuteen, armeijan käyttöön tai lääketieteeseen. Suurimmassa osassa valmistajien sivuja ilmoitetaan laitteen olevan joko yksityis- tai yrityskäyttöön. Epson on esimerkki poikkeuksesta, ensinnäkin siltä osin, että sillä on valikoimissaan useita erilaisia laitteita, mutta myös sillä, että se esittelee eri laitteiden osalta mahdollisia sovellusalueita, kuten terveydenhuolto, kulttuurikohteet tai teollisuus [42]. Osaa laitteista puolestaan markkinoidaan sekä yksityiskäyttöön sekä yrityskäyttöön. Yksityiskäyttöön kohdennetut vertailut laitteet on tarkoitettu viihde ja peli käyttöön, urheilukäyttöön tai yleiseksi informaatio näytöksi. Mitään vertailuun otettua laitetta ei ole suunniteltu mitään tiettyä erityistä tarvetta varten. Vertailutaulukkoon kohdeyleisö on jaoteltu yritys tai yksityiskäyttöön, tai sitten kattamaan molemmat käyttäjäryhmät.

Nimi	Julkaistu	Hinta	Kohde	Saata-vuus	Paino	Näyttö			Sensorit													Käyttö													Laitteisto				Muut
						Resoluutio	Näkymä	Typpi														Sijainti	Liitettävyydet				Akku	Muisti	Suorittimet		ANSI / IP -luokitus (American National Standards Institute / International Protection)								
AntVR Mix [43]-[45]	2018	907 €	x	x	x	130	2400	1200	2,88	96	90	2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Windows 10 PC					
DAQRI Smart Glasses [46]-[48]	2017	7 582 €	x	x	x	312	496	1360	768	1,04	44	90	2	x	2	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	6th Gen Intel® Core™ m7	287.1					
DreamWorld DreamGlass Pro [49]-[51]	2018	\$619	x	x	x	260	1280	800	1,02	90	60	2	x	2	2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Android						
Epson Moverio BT-300 [52]-[54]	2016	669 €	x	x	x	69	129	1280	720	0,92	23	30	2	x	5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Win10 / Android 8+						
Epson Moverio BT-30C [55]-[57]	2019	\$499	x	x	x	95	20	1280	720	0,92	23	30	2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Win10 / Android 8+						
Epson Moverio BT-350 [58]-[60]	2017	930 €	x	x	x	119	129	1280	720	0,92	23	30	2	x	5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Inter Atom x5 Quad 1,44GHz						
Epson Moverio BT-35E [61]-[63]	2018	806 €	x	x	x	119	45	1280	720	0,92	23	30	2	x	5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Win10 / Android 7+						
Epson Moverio Pro BT-2000 [64]-[65]	2016	2 046 €	x	x	x	290	265	960	540	0,52	23	60	2	x	5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	TI OMAP 4460 Dual 1,2Ghz	IP54					
EVERSIGHT Raptor [66]-[69]	2017	649 €	x	x	x	98	960	540	0,52	23	1	x	x	13	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Qualcomm Snapdragon 410E	Qualcomm Adreno 306	IP55				
Google Glass Enterprise Edition [70]-[73]	2017	\$1828	x	x	x	36	640	360	0,23	13	1	x	x	5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Inter Atom						
Google Glass Enterprise Edition 2 [74]-[75]	2019	\$999	x	x	x	46	640	360	0,23	13	1	x	x	8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Qualcomm Core, 4x 1.7GHz, 10nm	Android 8.x					
IRISTICK C1 Basic [76]-[77], [79]	2017	1 600 €	x	x	x	62	170	428	240	0,10	13	60	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Android 7+	287.1				
IRISTICK Z1 Premium [76], [78]-[79]	2017	2 275 €	x	x	x	71	170	428	240	0,10	13	60	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Android 7+	287.1				
Kopin SOLOS [80]-[84]	2016	\$499	x	x	x	65					11	1	x	x																									
Lenovo ThinkReality A6 [85]-[88]	2019	\$2300	x	x	x	380	1920	1080	2,07	35	2	x	x	13	2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Qualcomm® Snapdragon™ 845 SoC	Android 8.x				
Magic Leap One [89]-[94]	2017	\$2295	x	x	x	325	415	1280	960	1,23	40	2	x	x	2	4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2x Denver 2.0, 4x ARM Cortex A57	Nvidia Pascal with 256 CUDA	Lumin OS			
Microsoft HoloLens [95]-[97]	2015	5 599 €	x	x	x	579	1280	720	0,92	34	2	x	x	2	4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Intel Atom x5-28100 4x 1,04 Ghz	HoloLens Graphics (Intel)				
Microsoft HoloLens 2 [98]-[100]	2019	\$3500	x	x	x	566	2048	1080	2,21	52	2	x	x	8	4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Qualcomm Snapdragon 850	Win Holographic OS				
North Focals [101]-[104]	2018	\$599	x	x	x	65	200	200	0,04	15	1	x	x																						Qualcomm APQ8009w	Qualcomm Adreno 304 GPU	IP55		
Nreal Light [105]-[108]	2019	\$499	x	x	x	88	1920	1080	2,07	52	60	2	x	x	2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Qualcomm APQ835	Android			
Rokid Glass [109]-[110]	2018	~500 €	x	x	x	150	1280	960	1,23	30	60	1	x	x	12	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Qualcomm APQ835	Android 7.1			
Rokid Vision [111]-[113]	2019	~700 €	x	x	x	120	1280	720	0,92	40	2	x	x																							PC, MAC, Smartphone			
ThirdEye X2 MR [114]-[116]	2019	\$1950	x	x	x	170	1280	720	0,92	42	60	2	x	x	13	2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Android 8.1				
Vuzix blade Smart Glasses [117]-[119]	2018	798 €	x	x	x	90	480	480	0,23	19	1	x	x	8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Quad Core ARM A53	Android 5.1			
Vuzix M300 [120]-[123]	2017	\$999	x	x	x	127	640	360	0,23	17	1	x	x	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Dual Core Intel x86	Android 6.0.1			
Vuzix M300XL [124]-[126]	2018	1 140 €	x	x	x	140	640	360	0,23	17	1	x	x	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	Dual Core Intel x86	Android 6.0.1			
Vuzix M400 [127]-[129]	2019	2 046 €	x	x	x	190	640	360	0,23	17	1	x	x	13	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	8 Core 2.52Ghz Qualcomm XR1	Android 8.1			

Taulukko 1. Laitteiden ominaisuudet.

Taulukossa 1. on listattuna kaikki vertailut laitteet ja niiden ominaisuudet. Kun laitteista on ollut saavavilla mallit sekä yrityskäyttöön että kehittäjille, yrityskäyttöön soveltuvan laitteen hinta on valittu. Osa laitevalmistajista ei myöskään ole suoraan ilmoittanut laitteen näkyvän alueen laajuutta, mutta on ilmoittanut näytön vastaavan tietyn tuumaista näyttöä annetun matkan etäisyydessä. Tunnetun resoluution perusteella näytön kuvasuhde on voitu laskea, jolloin on voitu laskea kyseisen näyttöalueen leveys. Näyttöalueen leveyden ja tunnetun etäisyyden avulla näkymän leveys asteina on laskettu kaavalla $2 * \tan^{-1}\left(\frac{x}{y*2}\right)$, jossa x on tunnetun näyttöalueen leveys ja y etäisyys katsojasta [130].

4.3 Laitteiden pisteyttäminen

Tässä luvussa esitetään miten vertailut laitteet ovat arvostelu antamaan vastauksen siihen mikä tai mitkä laitteista sopivat parhaiten useammalle eri käyttäjäryhmälle. Arvostelu muodostuu 12 yksittäisestä painotetusta arvosana osa-alueesta: hinta, kohdeyleisön laajuus, mobiliteetti, laitteen käyttötavat, kameran laatu, sensorien monipuolisuus, SLAM, liitettävyyys, näkymän tarkkuus, näkymän laajuus, näkymä näkökentässä, näyttöjen määrä. Kunkin osa-alueen arvosteluperusteet selitetään, sekä kerrotaan käytetyt painoarvot.

Arvosanojen määrittäminen on pyritty toteuttamaan niin, että hyviä arvosanoja, asteikolla yhdestä viiteen, saa sellaiset ominaisuudet, jotka tukevat laitteen sopivuutta mahdollisimman laajalle käyttäjäkunnalle. Arvosanojen laskemiseen on pääosin sovellettu seuraavaa arvosanan määrittäytapaa: 1. Lasketaan vertailtavien arvojen skaala, vähentämällä maksimiarvosta minimiarvo. 2. Jaetaan saatu skaala neljällä, jolloin saatu tulos vastaa arvosanojen välistä arvoetäisyyttä 3. Lasketaan laitteen arvosteltavan asian arvon etäisyys minimiarvosta. 4. Jaetaan laskettu etäisyys minimiarvosta arvosanojen etäisyydellä. 5. Tulokset saavat arvoja 0-4, joten arvosteluasteikon ollessa välillä 1-5, yllä laskettuun lopputulokseen lisätään yksi. Saatu numero pyöristetään kokonaisluvuksi, kyseisen ominaisuuden osa-arvosanaksi. Yllä oleva pätee silloin kun pieni arvo on haluttu asia. Mikäli tahdottu tilanne on toisinpäin, arvosta 5 vähennetään yllä kuvatulla tavalla laskettu arvo.

Arvosanan (1-5) laskemiskaava, kun arvosana on sitä suurempi mitä suurempi on laitteen vertailtava arvo:

$$1 + \frac{4 * (arvo - minimi)}{maksimi - minimi}$$

Arvosanan (1-5) laskemiskaava, kun arvosana on sitä pienempi mitä suurempi on laitteen vertailtava arvo:

$$\frac{4 * (arvo - minimi)}{maksimi - minimi} - 5$$

muuttuja ”arvo” on vertailulaitteen ominaisuuden arvo, ”minimi” kaikkien laitteiden osalta kyseisen ominaisuuden pienin arvo, ”maksimi” kaikkien laitteiden osalta kyseisen ominaisuuden osalta suurin arvo.

Hinta -arvosanan laskennassa pientä arvoa on pidetty korkeamman arvosanan arvoisena. Arvosanan muodostus noudattaa edellä mainittua kaavaa. *Kohdeyleisön* arvosana on 5 mikäli laite on suunnattu sekä yrityskäyttöön, sekä yksityisille kuluttajille. Arvon 4 ovat saaneet laitteet, jotka on suunnattu vain yrityskäyttöön, ja arvosanan 2 ne, jotka on suunnattu vain yksityishenkilöille.

Mobiliteetin arvosana lasketaan käyttäen painotetusti seuraavaa kahta aliarvosanaa: 1. laitteiston sijainti ja 2. päässä pidettävän laitteen paino. Laitteiston sijainnista arvosanan viisi on saanut ne laitteet, joissa laitteisto on joko pelkästään laseissa tai päässä pidettävässä laitteessa. Mikäli laite tarvitsee toimiakseen vyöllä tai taskussa pidettävää johdolla yhdistettyä älypuhelin tai laskentayksikköä, hankaloituu laitteen käyttöönotto ja käytön lopetus. Tällöin arvosanaksi muodostuu neljä. Mikäli laite voidaan liittää johdolla vain tietokoneeseen, on käyttäjän mobiliteetti rajoittunut merkittävästi. Arvosana tässä tapauksessa on yksi. Päässä pidettävän laitteen painon arvosana lasketaan käyttäen tämän luvun alussa kuvattua kaavaa. Laitteen päässä olevalla paino on epä mukavuustekijä, joka voi osaltaan rajoittaa käyttäjäkuntaa, kun taas laitteistoon liitettävät komponentit ja sen tuomat rajoitteet voivat estää tietyissä tapauksissa käytön kokonaan. Painoarvot mobiliteetin arvosanan laskemisessa ovat: 70% laitteiston sijainti ja 30% päässä pidettävän laitteiston paino.

Laitteen käyttötavat -arvosana lasketaan käyttämällä alussa mainittua kaavaa. Vertailtavat arvot ovat eri käyttötapojen määrä. Mitä enemmän tapoja laitteessa on laitteen käyttämiselle, sitä suurempi on potentiaalinen käyttäjäkunta. Yhdelle äänikomennot voivat olla ainut tapa käyttää laitetta työympäristöstä johtuen, toiselle vain fyysiset painikkeet voivat olla ainut tapa käyttää laitetta. *Kameran laatu* lasketaan yllä mainitulla kaavalla, jossa vertailtavana arvona on kameran tarkkuus pikseleissä.

Sensorien monipuolisuus -arvosana noudattaa laskentatavassa laitteen käyttötapojen arvostelua. Mitä enemmän laitteessa on eri asioita mittaavia sensoreita sitä todennäköisemmin se mittaa ja hyödyntää tiettyä tai tiettyjä arvoja, jotka ovat oleellisia useammalle käyttäjälle. Sensorien puute rajoittaa laitteen eri käytännön sovelluksia.

SLAM yksittäisenä ominaisuutena pienentää tarvetta muodostaa tilasta ennalta määriteltyä pohjakarttaa, sekä mahdollistaa käyttäjän sijainnin paikantamisen tilassa ilman erillisiä tilaan asennettuja sensoreita. Ominaisuuden takia virtuaaliset objektit voivat ankkuroitua ja linkittyä kolmiulotteisiin objekteihin, mahdollistaen monia eri käyttötapauksia, jotka ilman tätä eivät olisi mahdollisia. Tämän osalta arvosana on viisi, mikäli laite tukee tätä ominaisuutta, yksi mikäli tukea ei ole.

Liitettävyyden arvosana noudattaa laskennassa samaa kaavaa sensorien monipuolisuuden kanssa. Mitä enemmän laite tarjoaa eri tapoja liitettävyyteen, sitä todennäköisemmin se palvelee eri käyttötarpeita. *Näkymän tarkkuus* ja *näkymän laajuus* noudattavat luvun alussa olevaa laskentakaavaa. Näkymän tarkkuus perustuu näkymässä olevien kuvapisteen määrään, näkymän laajuus puolestaan vaakasuuntaisen näkökenttä alueen leveyttä asteina, johon lisätyn todellisuuden elementtejä voidaan asettaa.

Näkymä näkökentässä -arvosana perustuu kuvanmuodostustapaan. Mikäli laitteessa on läpinäkymätön näyttö, käyttäjän on lisätyn todellisuuden objekteja tarkastellakseen kohdistettava katseensa tuohon näyttöön, ja siirrettävä katse tämän jälkeen takaisin todellisuuteen. Näissä tapauksissa arvosanaksi tulee yksi. Mikäli lisätty todellisuus on tuotettu käyttäen kuvan heijastusta näkökenttään erilliseltä näytöltä tai mikäli kuva tuodaan aaltojohdinta pitkin linssien kautta käyttäjän näkökenttään, voi henkilö pitää katseensa koko ajan ympäröivässä tilassa. Näissä molemmissa tapauksissa osa-arvosana on 5.

Näyttöjen määrän arvosana on joko yksi tai viisi riippuen siitä, onko lisätyn todellisuuden sisältö näkyvillä molemmilla silmillä vai vain yhdellä. Näkymä molemmille silmille mahdollistaa kolmiulotteisten lisätyn todellisuuden objektien lisäämisen näkökenttään, laajentaen käyttömahdollisuuksia. Yhdelle silmälle heijastuksen haasteena on se, että toisilla käyttäjillä dominoiva silmä voi olla juuri toisella puolella kuin mihin lisätyn todellisuuden sisältö on tuotu näkyville. Arvosana on yksi, mikäli näkymä on vain yhdelle silmälle.

Painoarvojen osalta näyttöön liittyviä osa-alue arvosanoja on yhteensä neljä kappaletta, joilla on seuraavat painoarvot kokonaisarvosanan muodostuksessa: näytön tarkkuus 5%, näkymän laajuus 10%, näkymä näkökentässä 5% ja näyttöjen määrä 5%. Yhteensä kokonaisarvostelussa nämä muodostavat 25% osuuden merkittävänä tekijänä lisätyn todellisuuden laitteen soveltuvuudessa isoille käyttäjäryhmille. Tämän jälkeen toiseksi suurimman painoarvon on saanut sensorien monipuolisuus 20% osuudella, joka joko mahdollistaa eri käyttökohteet ja tavat, tai puolestaan rajoittaa joitain kokonaan pois. Seuraavana suurimman painoarvon saaneen ominaisuutena on laitteen käyttötavat 15% painoarvolla, joka niin ikään mahdollistaa tai rajoittaa potentiaalisia käyttäjäryhmiä. 10% painoarvolla on kohdeyleisön laajuus ja mobiliteetti. 5% painoarvolla puolestaan hinta, kameran laatu, SLAM ja liitettävyyys.

	Painoarvo	Markkinoille tulossa olevat laitteet										Markkinoilla olevat laitteet													Poistuneet			
		AntVR Mix	DreamWorld DreamGlass Pro	Google Glass Enterprise Edition 2	Lenovo ThinkReality A6	Nreal Light	Rokid Glass	Rokid Vision	ThirdEye X2 MR	Vuzix M400	DAQRI Smart Glasses	Epson Moverio BT-300	Epson Moverio BT-30C	Epson Moverio BT-350	Epson Moverio BT-35E	Epson Moverio Pro BT-2000	EverySight Raptor	IRISTICK C1 Basic	IRISTICK Z1 Premium	Kopin SOLOS	Magic Leap One	Microsoft HoloLens 2	North Focals	Vuzix blade Smart Glasses	Vuzix M300XL	Google Glass Enterprise Edition	Microsoft HoloLens	Vuzix M300
Hinta	5 %	5	5	5	4	5	5	5	4	4	1	5	5	5	5	4	5	4	4	4	5	4	5	5	5	4	2	5
Kohdeyleisön laajuus	10 %	5	5	4	4	2	4	5	4	4	4	4	5	4	5	4	2	4	4	2	5	4	2	5	4	4	4	4
Mobiliteetti	10 %	2	4	5	4	4	5	4	5	5	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	5	5	5	5	4	5
Laitteen käyttötavat	15 %	3	2	3	4	4	3	4	3	3	1	2	1	2	1	2	3	3	3	3	5	4	2	4	3	2	3	3
Kameran laatu	5 %	1	1	3	5	1	5	1	5	5	1	2	1	2	2	2	5	1	1	1	1	3	1	3	4	2	1	4
Sensorien monipuolisuus	20 %	4	3	3	4	4	4	3	5	4	4	4	3	4	3	4	4	3	4	1	5	5	4	5	4	4	5	4
SLAM	5 %	1	5	1	5	5	1	5	5	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	1	1	1	1	5	1
Liitettävyyys	5 %	3	1	3	3	1	3	1	4	3	4	5	2	4	2	4	2	1	2	2	3	2	1	3	3	2	3	3
Näkyvän tarkkuus	5 %	5	2	1	4	4	3	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	3	4	1	1	1	1	2	1
Näkyvän laajuus	10 %	5	5	1	2	3	2	2	2	1	3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	3	1	1	1	1	2	1
Näkymä näkökentässä	5 %	5	5	5	5	5	5	5	5	1	5	5	5	5	5	5	5	1	1	1	5	5	5	5	1	5	5	1
Näyttöjen määrä	5 %	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	5	5	5	5	1	1	1	1	5	5	1	1	1	1	5	1
Kokonaisarvosana	100 %	3,7	3,4	3,0	3,9	3,4	3,3	3,4	4,1	3,0	3,1	3,2	2,8	3,2	2,9	3,2	3,0	2,5	2,6	2,0	4,1	3,9	2,6	3,5	3,0	2,9	3,5	3,1

Taulukko 2. Laitearvostelu ja painotukset.

Taulukossa 2 on esitetty kaikki vertailtavat laitteet ominaisuus arvosanoineen, ominaisuus painoituksineen, sekä kokonaisarvosanoineen. Taulukkoon on vasempaan reunaan vihreälle taustalle koottu hiljattain markkinoille tulevat laitteet, keskelle siniselle pohjalle nyt ostettavissa olevat laitteet, sekä oikeaan reunaan oranssille pohjalle laitteet, jotka ovat poistuneet markkinoilta hiljattain.

5 TULOKSET JA KESKUSTELU

Tässä luvussa käsitellään analysointivaiheen dataa ja johdetaan niistä tulokset, sekä keskustellaan miten tutkimus vastasi tutkimuskysymyksiin, mitä tulokset tarkoittavat, sekä mitä rajoitteita tutkimustulokset pitävät sisällään.

5.1 Tulokset

Luvussa 4 esitelty taulukko 2 antaa korkeimmat arvosanat seuraaville kahdelle laitteelle: ThirdEye X2 MR ja Magic Leap One. Molemmat näistä laitteista saivat kokonaisarvosanaksi painotetuilla osa-arvosanoilla 4,1. Koska ominaisuuksien arvosteluperiaatteet määritettiin sen mukaan, kuinka hyvin mikäkin ominaisuus tukee laitteen käyttöä mahdollisimman moneen käyttötapaukseen, samoin kuin kokonaisarvosanan laskemiseen käytetyt painotukset, näitä kahta laitetta voidaan ominaisuuksiensa perusteella pitää parhaina laitteina tuolla määritelmällä. Magic Leap One on tällä hetkellä myynnissä, kun taas ThirdEye X2 MR odottaa myyntiin tuloa.

Toiseksi parhaat arvosanat saivat puolestaan Microsoft Hololens 2 ja Lenovo ThinkReality A6, kummatkin 3,9 kokonaisarvosanalla. Kaikkia neljää parasta laitteita yhdistää laitesensorien suuri määrä sekä näyttöön liittyvien ominaisuuksien paremmuus muihin vertailtaviin laitteeseen nähden. Lenovoa lukuun ottamatta kaikki laitteet ovat myös vapaita johdoista, niin että kaikki laitteisto on sijoitettu päässä olevaan laitteeseen.

Parhaat jaetun arvosanan saaneen Magic Leap -laitteen eräs selvä heikkous liittyy sen pääkameran laatuun, joka pikseliarvolla mitattuna oli toiseksi huonoin yhdessä kahden muun laitteen kanssa kaikkien laitteiden osalta, joista tämä tieto oli saatavilla. Akun kesto ei ollut ominaisuusarvostelussa, koska tämä tieto oli saatavilla niin harvasta laitteesta. Magic Leap Onen ja Microsoft Hololens 2:sen osalta, jolta tämä tieto kuitenkin oli saatavilla, on huomionarvoista se, että molemmat laitteet jakoivat saman käyttöajan 3 tuntia, joka oli tiedossa olevista käyttöajoista kaikkein matalin.

5.2 Keskustelu

Tutkimuskysymyksiä tässä tutkimuksessa oli kolme. Markkinatilanteen osalta tutkimus antaa yleisen katsauksen lisätyn todellisuuden tilanteeseen, sijoitusten ja markkinoiden suuruuden osalta, kuin ennustetun kehityksenkin osalta. Laitteiden eroavaisuuksien osalta ominaisuusvertailu on mahdollista luodun vertailutaulukon avulla niiden tietojen osalta, joita valmistajien osalta on ollut saatavilla. Päätelmät, mitkä laitteista sopivat parhaiten mahdollisimman monelle käyttäjälle, on tehty vertailemalla ja arvostelemalla ja painottamalla arvosanat tutkimuskysymyksen perusteella, nostaan esille neljä laitetta.

Erityisesti päätutkimuskysymyksen osalta tutkimuksessa käytetyt tiedonkeruumetodit asettavat tiettyjä rajoitteita laitteiden vertailuun ja soveltuvuuden arviointiin laajoille käyttäjäryhmille. Yksi rajoite liittyy siihen, kuinka suoria johtopäätöksiä laitteen teknisten ominaisuuksien hyvyydestä voi tehdä pelkästään valmistajien tarjoamien ominaisuusarvojen perusteella. Vain yhtenä tällaisena esimerkkinä on valmistajien ilmoittamat lisättyä todellisuutta sisältävä näyttöalueen resoluutio, eli käytännössä se kuinka paljon yksityiskohtia näytettävä kuva voi pitää sisällään. Isosta resoluutiosta on kuitenkin vähän hyötyä, mikäli kuvanmuodostusoptiikka rajoittaa erottelukyvyn esimerkiksi puoleen kuvanmuodostusyksikön tarkkuudesta. Toinen rajoite on puolestaan puuttuvat tiedot tietyistä ominaisuuksista. Näitä ovat mm. lisätyn todellisuuden näkymän kirkkaus ja akunkesto käytössä, joilla molemmilla voi olla erittäin suuri rooli laitteen käytettävyyteen tilanteissa, joissa laitteita joudutaan käyttämään ulkona tai yhtäjaksoisesti pitkiä aikoja. Siksi tutkimuksen listaamia ominaisuusarvoja ja näistä annettuja arvosanoja on muistettava tarkastella sillä ajatuksella, että arvosanat perustuvat teknisiin arvoihin, eivätkä välttämättä korreloi laitteen paremmuutta käytössä muihin laitteisiin nähden.

Laitteiden soveltuvuuteen isoille käyttäjäryhmille vaikuttaa laitteiston lisäksi myös ohjelmistot. Laitteisto tarjoaa alustan ja mahdollisuuden eri käyttötapauksiin, mutta ohjelmisto on lopulta se, joka realisoi laitteiston potentiaalinen eri käyttötapauksiin. Ohjelmisto voi toimia myös pullonkaulana eri käyttötapauksien osalta, vaikka laitteiston puolesta rajoitteita ei olisi. Toisaalta myös laitteen käyttäjärajapintaohjelmiston huonous ja tehottomuus voi tehdä suorituskykyisimmilläänkin laitteistokomponenteilla varustetun

laitteen hitaaksi. Merkittävä on myös ohjelmistojen tarjoamat rajapinnat ja työkalut, joilla laitteet voidaan integroida yritysten järjestelmiin tai siirtää oleellisia tietoja järjestelmien välillä käyttötapausten luomiseksi. Ohjelmistoilla on myös merkittävä tekijä käyttöönoton kustannuksissa, pelkän laitehankintahinnan sijaan, josta vain jälkimmäistä on tarkasteltu tässä tutkimuksessa.

Huomionarvoista on myös tiedostaa se, että parhaan arvosanan saaneet laitteet kuvaavat näiden kykyä suoriutua mahdollisimman monenlaisista eri käyttäjäryhmien käyttötapauksista, mikä ei tarkoita, että se tekisi laitteesta yleisesti parhaita laitetta näihin eri käyttötapauksiin. Esimerkiksi matalan kokonaisarvosanan tässä tutkimuksessa saanut laite voi olla täysin ylivoimainen parhaimman arvosanan saaneeseen laitteeseen jossain tietyssä käyttötapauksessa.

Markkinatilanteen osalta investointien suuri määrä nimenomaan lisätyn todellisuuden tekniikkaan suhteessa tällä hetkellä olevaan lisätyn todellisuuden laitteiden myyntiin voidaan nähdä kuvastavan sijoittajien odotuksia tekniikan ja laitteiden myynnin merkittävästä kasvusta tulevaisuudessa. Ilman oletettavissa olevaa muutosta nykyinen vuotuisten investointien suuruus (7,2 miljardia) olisi varsin järjetön. Monet näitä laitteita ja tekniikkaa valmistavat yritykset ja sijoittajat haluavat olla mukana ensimmäisessä aallossa, kun laitteiden läpilyönti markkinoille tapahtuu.

6 YHTEENVETO

Tässä työssä tutkittiin mitkä vuonna 2019 markkinoilla olevat, samana vuonna markkinoilta poistuneet tai lähiaikoina markkinoille tulevista, päässä pidettävien lisätyn todellisuuden laitteista soveltuvat parhaiten suurimmille käyttäjryhmille, mikä on tämän laitekategorian tämän hetkinen markkinatilanne ja kuinka vertailut laitteet eroavat teknisiltä ominaisuuksiltaan toistaan. Tutkimuksessa vertailtiin 27:n laitteen teknisiä ominaisuuksia ja koottiin näistä saatavilla olevat tiedot yhteen vertailutaulukkaan. Ominaisuudet arvosteltiin sen mukaan, kuinka hyvin ne tukevat laitteiden soveltuvuutta suurille käyttäjryhmille. Laitteille laskettiin kokonaisarvosana, painottamalla laskettuja arvosanoja sen mukaan, kuinka oleellinen kyseinen ominaisuus on edellä mainitun soveltuvuuden osalta.

Tutkimus tehtiin antamaan yleiskuva markkinoilla olevista laitteista ja niiden perusominaisuuksista ja ominaisuuksista toisiinsa nähden osaksi valintaprosessia, jossa esimerkiksi lisätyn todellisuuden ratkaisuisista kiinnostuneet yritykset voivat käyttää osana omaa tuotekartoitusta omiin tarpeisiin. Vastaavaa viimeinen vertailu on vuodelta 2017, ja se rajoittui tutkimaan laivanrakennusteollisuuteen sopivia laitteita. Silloin vertailussa olevista laitteista suurin osa on joko poistunut markkinoilta tai on korvautunut uusilla malleilla, tai markkinoille on tullut sen jälkeen täysin uusia laitteita ja valmistajia. Tämä tutkimus tehtiin antamaan ajantasainen tieto muuttuneesta, nykyisestä markkinatilanteesta.

Ominaisuuksien arvostelun ja painotusten pohjalta parhaiten suurimmille käyttäjryhmille sopii jo nyt markkinoilla oleva Magic Leap One, sekä markkinoille tulossa oleva ThirdEye X2 MR molempien saadessa arvostelussa saman kokonaisarvosanan. Seuraavana olivat Microsoft Hololens 2 ja Lenovon ThinkReality A6, saaden keskenään saman kokonaisarvosanan. Tutkimuksen tuloksena luotiin kaikki laitteet sisältävä vertailutaulukko, sekä erikseen arvostelu ja pisteytystaulukko, sekä kartoitettiin tämän tuotekategorian yleinen markkinatilanne.

Tulokset antavat suuntaviivan siitä mitkä laitteet ovat ominaisuuksiensa perusteella sellaisia, jotka voivat sopia ominaisuuksiensa puolesta hyvin moniin eri käyttötarkoituksiin. Tulosten pohjautuessa pääasiassa tuotteiden laitteisto ominaisuuksiin

ja valmistajien ilmoittamiin tietoihin, käytettävyyteen liittyvät, samoin kuin ohjelmistojen tuomat rajoitteet ja haasteet, ovat tämän tutkimuksen ulkopuolella. Tutkimus vastaa soveltuvuudesta isolle käyttäjäryhmälle perustuen laitteista saatavilla olevaan tietoon, antaa tarkat tekniset tiedot laitteiden eroavaisuuksien vertailuun, sekä avaa yleisellä tasolla markkinoiden tilaa ja sen viimeaikaisia muutoksia.

Tässä tutkimuksessa on etsitty laitetta, joka on kykenevä hyvin moneen eri käyttötarkoitukseen. Oma tutkimuksen aihe samojen laitteiden osalta voisi olla selvittää, voiko peräänkuulutetun lisätyn todellisuuden laitteen kyvyllä soveltua hyvin moneen eri käyttötarkoitukseen, olla negatiivisia vaikutuksia sen suoriutumisesta yksittäisissä käyttötapauksissa. Tämä tutkimus antaa myös hyvän pohjan valita ja tehdä jatkotutkimusta yksittäistä laitteista ja niiden soveltuvuutta tiettyyn tai tiettyihin käyttötapauksiin.

LÄHTEET

- [1] H. Piili, T. Widmaier, A. Happonen, J. Juhanko, A. Salminen, P. Kuosmanen, O. Nyrhilä., ”Digital Design Process and Additive Manufacturing of a Configurable Product”, *adv sci lett*, vsk. 19, nro 3, ss. 926–931, maaliskuu 2013.
- [2] P. Milgram, H. Takemura, A. Utsumi, ja F. Kishino, ”Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum”, teoksessa *Telemanipulator and Telepresence Technologies*, 1995, vsk. 2351, ss. 282–292.
- [3] S. Rogers, ”What Is Mixed Reality And What Does It Mean for Enterprise?”, *Forbes*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.forbes.com/sites/solrogers/2018/12/04/what-is-mixed-reality-and-what-does-it-mean-for-enterprise/>. [Viitattu: 22-syys-2019].
- [4] ”Mixed Reality Definition”. [Verkossa]. Saatavissa: https://techterms.com/definition/mixed_reality. [Viitattu: 22-syys-2019].
- [5] P. Fraga-Lamas, T. M. Fernández-Caramés, Ó. Blanco-Novoa, ja M. A. Vilar-Montesinos, ”A Review on Industrial Augmented Reality Systems for the Industry 4.0 Shipyard”, *IEEE Access*, vsk. 6, ss. 13358–13375, 2018.
- [6] H. Kortelainen, A. Happonen, ja J. Hanski, ”From Asset Provider to Knowledge Company—Transformation in the Digital Era”, teoksessa *Asset Intelligence through Integration and Interoperability and Contemporary Vibration Engineering Technologies*, J. Mathew, C. W. Lim, L. Ma, D. Sands, M. E. Cholette, ja P. Borghesani, Toim. Cham: Springer International Publishing, 2019, ss. 333–341.
- [7] ”Shelley Peterson (Lockheed Martin): AR for Enterprise: How AR is Building Better Spacecraft”, 05-marras-2018. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=0Rpm-udzKx4&feature=youtu.be>. [Viitattu: 21-syys-2019].
- [8] P. Milgram ja F. Kishino, ”A taxonomy of mixed reality visual display”, *IEICE Transactions on Information and Systems*, vsk. 77, nro 12, ss. 1321–1329, 1994.
- [9] R. T. Azuma, ”A Survey of Augmented Reality”, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vsk. 6, nro 4, ss. 355–385, elokuu 1997.
- [10] R. Azuma, Y. Baillet, R. Behringer, S. Feiner, S. Julier, ja B. MacIntyre, ”Recent advances in augmented reality”, *IEEE Comput. Graph. Appl.*, vsk. 21, nro 6, ss. 34–47, joulu 2001.
- [11] S. Zokai, J. Esteve, Y. Genc, ja N. Navab, ”Multiview paraperspective projection model for diminished reality”, teoksessa *The Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2003. Proceedings.*, Tokyo, Japan, 2003, ss. 217–226.
- [12] I. E. Sutherland, ”A head-mounted three dimensional display”, teoksessa *Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I on - AFIPS '68 (Fall, part I)*, San Francisco, California, 1968, s. 757.
- [13] M. W. Krueger, T. Gionfriddo, ja K. Hinrichsen, ”VIDEOPPLACE---an artificial reality”, *SIGCHI Bull.*, vsk. 16, nro 4, ss. 35–40, huhti 1985.
- [14] T. P. Caudell ja D. W. Mizell, ”Augmented reality: an application of heads-up display technology to manual manufacturing processes”, teoksessa *Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences*, Kauai, HI, USA, 1992, ss. 659–669 vsk.2.

- [15] S. K. Feiner, "Augmented Reality: A New Way of Seeing", *Sci Am*, vsk. 286, nro 4, ss. 48–55, huhti 2002.
- [16] A. Tomiuc, "Navigating Culture. Enhancing Visitor Museum Experience through Mobile Technologies. from Smartphone to Google Glass", *Journal of Media Research*, vsk. 7, nro 3, s. 33, syys 2014.
- [17] B. Cortazar, H. C. Koydemir, D. Tseng, S. Feng, ja A. Ozcan, "Quantification of plant chlorophyll content using Google Glass", *Lab Chip*, vsk. 15, nro 7, ss. 1708–1716, 2015.
- [18] O. J. Muensterer, M. Lacher, C. Zoeller, M. Bronstein, ja J. Kübler, "Google Glass in pediatric surgery: An exploratory study", *International Journal of Surgery*, vsk. 12, nro 4, ss. 281–289, huhti 2014.
- [19] D. W. F. van Krevelen ja R. Poelman, "A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations", *International Journal of Virtual Reality*, vsk. 9, nro 2, ss. 1–20, marras 2015.
- [20] O. Bimber ja R. Raskar, "Modern approaches to augmented reality", teoksessa *ACM SIGGRAPH 2005 Courses on - SIGGRAPH '05*, Los Angeles, California, 2005, s. 1.
- [21] M. Billinghurst, A. Clark, ja G. Lee, "A Survey of Augmented Reality", *FNT in Human-Computer Interaction*, vsk. 8, nro 2–3, ss. 73–272, 2015.
- [22] J. Rolland, Y. Baillot, ja A. A. Goon, "A survey of tracking technology for virtual environments", *Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality*, tammi 2001.
- [23] G. Klein ja D. Murray, "Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces", teoksessa *2007 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, Nara, Japan, 2007, ss. 1–10.
- [24] D. Nicholls, "Qualitative research: Part two - Methodologies", *International Journal of Therapy and Rehabilitation*, vsk. 16, nro 11, ss. 586–592, marras 2009.
- [25] M. Q. Patton, *Qualitative research & evaluation methods: integrating theory and practice*, Fourth edition. Thousand Oaks, California: SAGE Publications, Inc, 2015.
- [26] N. K. Gale, G. Heath, E. Cameron, S. Rashid, ja S. Redwood, "Using the framework method for the analysis of qualitative data in multi-disciplinary health research", *BMC Med Res Methodol*, vsk. 13, nro 1, s. 117, joulu 2013.
- [27] J. Eskola ja J. Suoranta, *Johdatus laadulliseen tutkimukseen*. Tampere: Vastapaino, 1998.
- [28] "Worldwide Spending on Augmented and Virtual Reality Expected to Surpass \$20 Billion in 2019, According to IDC", *IDC: The premier global market intelligence company*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS44511118>. [Viitattu: 24-elo-2019].
- [29] "Press release", 11-huhti-2019. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.gfk.com/insights/press-release/global-smartphone-sales-reached-522-billion-in-2018/>. [Viitattu: 24-elo-2019].
- [30] "AR/VR Headsets Return to Growth in the First Quarter As New Models and Use Cases Restore Momentum to the Market, According to IDC", *IDC: The premier global market intelligence company*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS45326719>. [Viitattu: 23-elo-2019].
- [31] "\$7 billion computer vision/AR investment: China surges, America dries up in LTM | Digi Capital". [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.digi-capital.com/news/2018/10/7-billion-computer-vision-ar-investment-china-surges-america-dries-up-in-ltm/>. [Viitattu: 24-elo-2019].

- [32] "The Enterprise Reality Ecosystem: how AR/VR is driving ROI | Digi Capital". [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.digi-capital.com/news/2019/04/the-enterprise-reality-ecosystem-how-ar-vr-is-driving-roi/>. [Viitattu: 24-elo-2019].
- [33] "\$80+ billion AR/VR market could diverge before converging | Digi Capital". [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.digi-capital.com/news/2019/05/80-billion-ar-vr-market-could-diverge-before-converging/>. [Viitattu: 24-elo-2019].
- [34] "Intel Closes Augmented Reality Goggles Brand", *VRFocus*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.vrfocus.com/2017/10/intel-closes-augmented-reality-goggles-brand/>. [Viitattu: 15-syys-2019].
- [35] "Buy now - SmartEyeglass SED-E1 - Sony Developer World". [Verkossa]. Saatavissa: <https://developer.sony.com/develop/smarteyeglass-sed-e1/buy-now>. [Viitattu: 15-syys-2019].
- [36] L. Goode, "AR company Avegant has replaced its CEO and laid off more than half its staff", *The Verge*, 17-maaliskuu-2018. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.theverge.com/2018/3/17/17134948/avegant-ar-mixed-reality-headset-company-layoffs-new-ceo>. [Viitattu: 20-elo-2019].
- [37] "'Meta Company is insolvent' as AR company faces patent infringement lawsuit", *VentureBeat*, 12-tammikuu-2019. [Verkossa]. Saatavissa: <https://uploadvr.com/founder-meron-meta-gribetz/>. [Viitattu: 24-syys-2019].
- [38] "An AR glasses pioneer collapses", *TechCrunch*. [Verkossa]. Saatavissa: <http://social.techcrunch.com/2019/01/10/an-ar-glasses-pioneer-collapses/>. [Viitattu: 24-elo-2019].
- [39] B. Lovejoy, "Google Glass Enterprise Edition officially announced, with multiple upgrades [Video]", *9to5Google*, 18-heinäkuu-2017. [Verkossa]. Saatavissa: <https://9to5google.com/2017/07/18/google-glass-enterprise-edition-officially-announced-with-multiple-upgrades-video/>. [Viitattu: 31-elo-2019].
- [40] C. Gallagher, "End of year summary of Augmented Reality and Virtual Reality market size predictions", *Medium*, 02-maaliskuu-2019. [Verkossa]. Saatavissa: <https://medium.com/vr-first/a-summary-of-augmented-reality-and-virtual-reality-market-size-predictions-4b51ea5e2509>. [Viitattu: 24-elo-2019].
- [41] "Virtual and Augmented Reality market to boom to \$170 billion by 2022". [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.consultancy.uk/news/17876/virtual-and-augmented-reality-market-to-boom-to-170-billion-by-2022>. [Viitattu: 21-syys-2019].
- [42] "Moverio BT-300". [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.epson-middleeast.com/products/see-through-mobile-viewer/moverio-bt-300>. [Viitattu: 21-syys-2019].
- [43] "ANTVR Announce Kickstarter For Mixed Reality Headset", *VRFocus*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.vrfocus.com/2018/04/antvr-announce-kickstarter-for-mixed-reality-headset/>. [Viitattu: 31-elo-2019].
- [44] "MIX: The Smallest AR Glasses with 96 degree FoV", *Indiegogo*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.indiegogo.com/projects/2389545>. [Viitattu: 31-elo-2019].
- [45] "MIX: The Smallest AR Glasses with Immersive 96° FoV", *Kickstarter*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.kickstarter.com/projects/805968217/mix-the-smallest-ar-glasses-with-immersive-96fov>. [Viitattu: 10-syys-2019].
- [46] "DAQRI Launches Augmented Reality Smart Glasses At CES". [Verkossa]. Saatavissa: <https://wearablezone.com/news/daqri-smart-glasses/>. [Viitattu: 31-elo-2019].

- [47] ”DQDSGDS2_DSG_DataSheet_Letter.pdf”. [Verkossa]. Saatavissa: https://assets.ctfassets.net/rf6r9wh4bnrh/1qqj875VQMGWWMqQ0IKiKi/7b312efce249e81e810299ca8adaa70f/DQDSGDS2_DSG_DataSheet_Letter.pdf. [Viitattu: 24-syys-2019].
- [48] ”Workgroup Pack of DAQRI Smart Glasses with Worksense – DAQRI”. [Verkossa]. Saatavissa: <https://daqri.myshopify.com/products/daqri-smart-glasses>. [Viitattu: 31-elo-2019].
- [49] ”DreamGlass Air: Private AR Screen for PHONE PS4 XBOX SWITCH”, *Kickstarter*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.kickstarter.com/projects/dreamglassair/dreamglass-air-the-worlds-first-portable-ar-private-theater>. [Viitattu: 03-syys-2019].
- [50] ”DreamWorld Announces DreamGlass AR Headset”, *VRFocus*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.vrfocus.com/2018/06/dreamworld-announces-dreamglass-ar-headset/>. [Viitattu: 03-syys-2019].
- [51] ”Dreamworld AR”, *Dreamworld AR*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.dreamworldvision.com>. [Viitattu: 03-syys-2019].
- [52] ”BT-300 - Technical Information - MOVERIO - Epson”. [Verkossa]. Saatavissa: <https://tech.moverio.epson.com/en/bt-300/>. [Viitattu: 19-elo-2019].
- [53] ”Moverio BT-300 - Epson”. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.epson.fi/products/see-through-mobile-viewer/moverio-bt-300>. [Viitattu: 31-elo-2019].
- [54] ”World’s Lightest Smart Glasses, Epson’s Moverio BT-300, now equipped to meet needs of Drone Piloting”. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.epson.fi/insights/article/worlds-lightest-smart-glasses-epsions-moverio-bt-300-now-equipped-to-meet-needs-of-drone-piloting1>. [Viitattu: 31-elo-2019].
- [55] ”BT-30C - Technical Information - MOVERIO - Epson”. [Verkossa]. Saatavissa: <https://tech.moverio.epson.com/en/bt-30c/>. [Viitattu: 25-elo-2019].
- [56] ”Epson Announces New Moverio BT-30C Smart Glasses Delivering Immersive USB-C Tethered AR Viewing Experience at Sub \$500 Price”, *Epson US*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://news.epson.com/news/moverio-bt-30c-smart-glasses>. [Viitattu: 31-elo-2019].
- [57] ”Moverio BT-30C Smart Glasses | Smart Glasses | Wearables | For Work | Epson US”. [Verkossa]. Saatavissa: <https://epson.com/For-Work/Wearables/Smart-Glasses/Moverio-BT-30C-Smart-Glasses/p/V11H962020>. [Viitattu: 31-elo-2019].
- [58] ”BT-350 - Technical Information - MOVERIO - Epson”. [Verkossa]. Saatavissa: <https://tech.moverio.epson.com/en/bt-350/>. [Viitattu: 31-elo-2019].
- [59] E. A. Inc, ”Epson Expands Moverio Smart Glasses Portfolio and Brings Leading Augmented Reality Platform to Industrial Users”. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.prnewswire.com/news-releases/epson-expands-moverio-smart-glasses-portfolio-and-brings-leading-augmented-reality-platform-to-industrial-users-300685364.html>. [Viitattu: 31-elo-2019].
- [60] ”Moverio BT-350 - Epson”. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.epson.fi/products/see-through-mobile-viewer/moverio-bt-350>. [Viitattu: 31-elo-2019].
- [61] ”BT-35E - Technical Information - MOVERIO - Epson”. [Verkossa]. Saatavissa: <https://tech.moverio.epson.com/en/bt-35e/>. [Viitattu: 25-elo-2019].
- [62] ”Epson Launches New Moverio Smart Glasses that Expands the Scope of Applications for Healthcare, Commercial Drone Piloting, Engineering and More”,

- Mynewsdesk*. [Verkossa]. Saatavissa: <http://news.epson.com.sg/pressreleases/epson-launches-new-moverio-smart-glasses-that-expands-the-scope-of-applications-for-healthcare-commercial-drone-piloting-engineering-and-more-2815714>. [Viitattu: 31-elo-2019].
- [63] ”Moverio BT-35E - Epson”. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.epson.fi/products/see-through-mobile-viewer/moverio-bt-35e>. [Viitattu: 31-elo-2019].
- [64] G. Hui, ”Epson launched Moverio Pro BT-2000 Smart Headset”, *GengHui’s Technology and Business Portal/Blog*, 15-kesä-2016. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.tangenghui.com/personal-stories/epson-launched-moverio-pro-bt-2000-smart-headset>. [Viitattu: 31-elo-2019].
- [65] ”Moverio Pro BT-2000”. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.epson.fi/products/see-through-mobile-viewer/moverio-pro-bt-2000>. [Viitattu: 31-elo-2019].
- [66] ”About Raptor – Eversight”. [Verkossa]. Saatavissa: <https://eversight.com/about-raptor/>. [Viitattu: 21-elo-2019].
- [67] ”Eversight announce launch details for their Raptor Smartglasses”, *road.cc*, 25-loka-2017. [Verkossa]. Saatavissa: <https://road.cc/content/tech-news/231285-eversight-announce-launch-details-their-raptor-smartglasses>. [Viitattu: 31-elo-2019].
- [68] ”Eversight Raptor review”, *Wareable*, 22-maaliskuu-2019. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.wareable.com/cycling/eversight-raptor-cycling-ar-smartglasses-review-7090>. [Viitattu: 10-syys-2019].
- [69] ”Raptor – Eversight”. [Verkossa]. Saatavissa: <https://eversight.com/product/raptor/>. [Viitattu: 31-elo-2019].
- [70] S. Hall, ”Google Glass Enterprise Edition: The full spec sheet revealed”, *9to5Google*, 24-heinäkuu-2017. [Verkossa]. Saatavissa: <https://9to5google.com/2017/07/24/google-glass-enterprise-edition-specs/>. [Viitattu: 21-elo-2019].
- [71] ”Google Glass Is Back, and It’s No Longer Meant for Everyone”, *Futurism*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://futurism.com/google-glass-is-back-and-its-no-longer-meant-for-everyone>. [Viitattu: 24-syys-2019].
- [72] ”Tech specs - Google Glass Help”. [Verkossa]. Saatavissa: <https://support.google.com/glass/answer/3064128?hl=en>. [Viitattu: 28-elo-2019].
- [73] S. Hall, ”You can now buy Glass Enterprise Edition online for \$1828 via a Glass for Work partner”, *9to5Google*, 07-elo-2017. [Verkossa]. Saatavissa: <https://9to5google.com/2017/08/07/how-to-buy-google-glass-enterprise-edition/>. [Viitattu: 31-elo-2019].
- [74] T. Haselton, ”Google unveils new \$999 smart glasses for businesses, undercutting Microsoft’s HoloLens on price”, *CNBC*, 20-touko-2019. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.cnbc.com/2019/05/20/google-glass-enterprise-edition-2-announced-price.html>. [Viitattu: 04-syys-2019].
- [75] ”Tech Specs”, *Glass*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.google.com/glass/tech-specs/>. [Viitattu: 04-syys-2019].
- [76] ”IRI-brochure-final-32019.pdf”. [Verkossa]. Saatavissa: <https://iristick.com/uploads/files/IRI-brochure-final-32019.pdf>. [Viitattu: 24-syys-2019].
- [77] ”Iristick.C1 Basic”, *Iristick*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://iristick.com/products/iristick-c1-basic>. [Viitattu: 24-elo-2019].
- [78] ”Iristick.Z1 Premium”, *Iristick*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://iristick.com/products/iristick-z1-premium>. [Viitattu: 31-elo-2019].

- [79] "Proceedix - Proceedix announces partnership with Iristick", *Proceedix*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://proceedix.com/resources/proceedix-partnership-iristick>. [Viitattu: 31-elo-2019].
- [80] "Amazon.com : Solos Smart Glasses Black, One Size : Sports & Outdoors". [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.amazon.com/Solos-Smart-Glasses/dp/B07FW1HT6H>. [Viitattu: 21-elo-2019].
- [81] "Golden-i Technical Specs | The Golden-i® Infinity Smart Screen". [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.golden-i.com/support-resources/technical-specs/>. [Viitattu: 20-elo-2019].
- [82] "Solos Cycling Smartglasses Review", *Solos Wearables*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://solos-wearables.com/news/news-item/solos-cycling-smartglasses-review/>. [Viitattu: 31-elo-2019].
- [83] "Solos Smart Cycling Glasses with Heads Up Micro-Display", *Kickstarter*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.kickstarter.com/projects/1101608300/solos-smart-cycling-glasses-with-heads-up-micro-di>. [Viitattu: 31-elo-2019].
- [84] "What Are Mobile Augmented Reality (AR) Glasses?", *Solos Wearables*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://solos-wearables.com/what-is-solos/product-specs/>. [Viitattu: 21-elo-2019].
- [85] M. Finnegan, "Lenovo launches enterprise AR/VR headset, the 'ThinkReality A6'", *Computerworld*, 15-touko-2019. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.computerworld.com/article/3395537/lenovo-launches-enterprise-arvr-headset-the-thinkreality-a6.html>. [Viitattu: 04-syys-2019].
- [86] "Lenovo ThinkReality A6 headset ushers in new enterprise AR platform", *SlashGear*, 13-touko-2019. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.slashgear.com/lenovo-thinkreality-a6-headset-ushers-in-new-enterprise-ar-platform-13576343/>. [Viitattu: 08-syys-2019].
- [87] "Lenovo_ThinkReality_A6_Datasheet.pdf". [Verkossa]. Saatavissa: https://news.lenovo.com/wp-content/uploads/2019/05/Lenovo_ThinkReality_A6_Datasheet.pdf. [Viitattu: 23-elo-2019].
- [88] "Lenovo's ThinkReality A6 Aims for Slice of AR Enterprise Market", *VRFocus*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.vrfocus.com/2019/05/lenovos-thinkreality-a6-aims-for-slice-of-ar-enterprise-market/>. [Viitattu: 10-syys-2019].
- [89] "Choose Your Bundle | Magic Leap". [Verkossa]. Saatavissa: <https://shop.magicleap.com/#/>. [Viitattu: 31-elo-2019].
- [90] J. Feltham, "Magic Leap Finally Reveals Its AR Headset, Magic Leap One", *UploadVR*, 20-joulu-2017. [Verkossa]. Saatavissa: <https://uploadvr.com/magic-leap-finally-reveals-ar-headset-magic-leap-one/>. [Viitattu: 07-syys-2019].
- [91] "Magic Leap One Teardown", *iFixit*, 23-elo-2018. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.ifixit.com/Teardown/Magic+Leap+One+Teardown/112245>. [Viitattu: 20-elo-2019].
- [92] "Magic Leap One: Creator Edition | Magic Leap". [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.magicleap.com/magic-leap-one>. [Viitattu: 17-elo-2019].
- [93] "Magic Leap, HoloLens, and Lumus Resolution "Shootout" (ML1 review part 3) – Karl Gutttag on Technology". [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.kgutttag.com/2018/10/22/magic-leap-hololens-and-lumus-resolution-shootout-ml1-review-part-3/>. [Viitattu: 02-syys-2019].

- [94] R. Metz, "Magic Leap's headset is real, but that may not be enough", *MIT Technology Review*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.technologyreview.com/s/611628/magic-leaps-headset-is-real-but-that-may-not-be-enough/>. [Viitattu: 02-syys-2019].
- [95] mattzmsft, "HoloLens hardware details - Mixed Reality". [Verkossa]. Saatavissa: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/hololens-hardware-details>. [Viitattu: 26-elo-2019].
- [96] A. Kharpal, "Microsoft HoloLens 'mixed reality' headset launches in Europe, Australia, New Zealand", *CNBC*, 12-loka-2016. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.cnbc.com/2016/10/12/microsoft-hololens-mixed-reality-headset-launches-in-europe-australia-new-zealand.html>. [Viitattu: 01-syys-2019].
- [97] "Osta Microsoft HoloLens Commercial Suite – Microsoft Store fi-FI", *Microsoft Store*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.microsoft.com/fi-fi/p/microsoft-hololens-commercial-suite/944xgcf64z5b>. [Viitattu: 01-syys-2019].
- [98] "HoloLens 2—Overview, Features, and Specs | Microsoft HoloLens". [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.microsoft.com/en-us/hololens/hardware>. [Viitattu: 26-elo-2019].
- [99] "Microsoft launches HoloLens 2 Development Edition for \$3,500", *Windows Central*, 02-touko-2019. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.windowscentral.com/microsoft-launches-hololens-2-development-edition-3500>. [Viitattu: 01-syys-2019].
- [100] B. Lang, "Microsoft Significantly Misrepresented HoloLens 2's Field of View at Reveal", *Road to VR*, 27-helmi-2019. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.roadtovr.com/microsoft-significantly-misrepresented-hololens-2s-field-of-view-at-reveal/>. [Viitattu: 27-elo-2019].
- [101] "Focals Technology", *North*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.bynorth.com/tech>. [Viitattu: 01-syys-2019].
- [102] "North Celebrates First Official Customer Shipment of Focals", *North*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.bynorth.com/press-room/focals-now-shipping>. [Viitattu: 01-syys-2019].
- [103] KarlG, "North's Focals Laser Beam Scanning AR Glasses – 'Color Intel Vaunt'", *Karl Gutttag on Technology*, 26-loka-2018. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.kgutttag.com/2018/10/25/norths-focals-laser-beam-scanning-ar-glasses-color-intel-vaunt/>. [Viitattu: 10-syys-2019].
- [104] "Shop Focals - North". [Verkossa]. Saatavissa: <https://shop.bynorth.com>. [Viitattu: 01-syys-2019].
- [105] Skarredghost, "nReal AR glasses hands-on preview", *The Ghost Howls*, 08-heinä-2019. [Verkossa]. Saatavissa: <https://skarredghost.com/2019/07/08/nreal-ar-glasses-hands-on-review/>. [Viitattu: 04-syys-2019].
- [106] "Nreal Light are mixed reality glasses in disguise", *Engadget*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.engadget.com/2019/01/08/nreal-light-mixed-reality-glasses-sunglasses-hands-on/>. [Viitattu: 04-syys-2019].
- [107] A. Robertson, "Nreal's AR sunglasses cost \$499 and should ship in 'limited quantities' this year", *The Verge*, 30-touko-2019. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.theverge.com/2019/5/30/18646160/nreal-light-ar-xr-qualcomm-snapdragon-sunglasses-consumer-price-shipping-release-5g>. [Viitattu: 24-elo-2019].
- [108] "Specs", *Nreal Ltd*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.nreal.ai/>. [Viitattu: 24-elo-2019].

- [109] R. Inc, "Rokid announces three new products at its first major press conference in four years". [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.prnewswire.com/news-releases/rokid-announces-three-new-products-at-its-first-major-press-conference-in-four-years-300672325.html>. [Viitattu: 01-syys-2019].
- [110] "Rokid Glass". [Verkossa]. Saatavissa: <https://glass.rokid.com/en/product>. [Viitattu: 28-elo-2019].
- [111] "Rokid Vision". [Verkossa]. Saatavissa: <https://vision.rokid.com/en#ht=2683>. [Viitattu: 01-syys-2019].
- [112] "Rokid Vision MR Glasses announced in AWE 2019 | GearBest Blog", *Gearbest*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.gearbest.com/blog/new-gear/rokid-vision-mr-glasses-announced-in-awe-2019-5461>. [Viitattu: 01-syys-2019].
- [113] B. Sin, "Testing Rokid's New Lightweight AR Glasses, The Vision", *Forbes*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.forbes.com/sites/bensin/2019/07/17/testing-rokids-new-lightweight-ar-glasses-the-vision/>. [Viitattu: 11-syys-2019].
- [114] T. G. Inc, "ThirdEye Releases X2- the World's Smallest Mixed Reality Glasses at CES 2019". [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.prnewswire.com/news-releases/thirdeye-releases-x2---the-worlds-smallest-mixed-reality-glasses-at-ces-2019-300774275.html>. [Viitattu: 01-syys-2019].
- [115] "X2 Smart Glasses | Augmented Reality & VR Smart Glasses", *ThirdEye*. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.thirdeyegen.com/product/x2-smart-glasses/>. [Viitattu: 28-elo-2019].
- [116] "X2_MR Glasses_Brochure.pdf". [Verkossa]. Saatavissa: https://www.thirdeyegen.com/wp-content/uploads/2019/06/X2_MR Glasses_Brochure.pdf. [Viitattu: 28-elo-2019].
- [117] "Vuzix | View The Future". [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.vuzix.com/Products/AddToCart/157>. [Viitattu: 01-syys-2019].
- [118] "Vuzix Blade has started selling its AR smart glasses for \$1000", *TechObserver*, 03-tammi-2019. [Verkossa]. Saatavissa: <https://techobserver.net/2019/01/vuzix-blade-ar-smart-glasses/>. [Viitattu: 01-syys-2019].
- [119] "Vuzix Blade Smart Glasses Review: AR Fun Over Fashion", *Tom's Hardware*, 14-helmi-2019. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.tomshardware.com/reviews/vuzix-blade-ar-smart-glasses-consumer,5667.html>. [Viitattu: 03-syys-2019].
- [120] "Vuzix-Blade-Business-Smart-Glasses-d03.pdf". [Verkossa]. Saatavissa: <https://vuzix-website.s3.amazonaws.com/files/Content/docs/north-american/web/Vuzix-Blade-Business-Smart-Glasses-d03.pdf>. [Viitattu: 18-elo-2019].
- [121] C. Gaskin, "Vuzix Blade and M300 hands-on | PhoneArena reviews", *Phone Arena*. [Verkossa]. Saatavissa: https://www.phonearena.com/news/Vuzix-Blade-and-M300-hands-on_id101589. [Viitattu: 01-syys-2019].
- [122] "Vuzix M300 Augmented Reality (AR) Smart Glasses". [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.vuzix.eu/Products/m300-smart-glasses>. [Viitattu: 01-syys-2019].
- [123] "Vuzix-M300-Smart-Glasses-Brochure-4-19.pdf". [Verkossa]. Saatavissa: <https://vuzix-website.s3.amazonaws.com/files/Content/docs/north-american/web/Vuzix-M300-Smart-Glasses-Brochure-4-19.pdf>. [Viitattu: 18-elo-2019].
- [124] "Vuzix | View The Future". [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.vuzix.eu/Products/AddToCart/163>. [Viitattu: 01-syys-2019].

- [125] M. Antic, "Vuzix Flagship M300XL AR Smart Glasses Available for Enterprise Market", *Reality Technologies*, 05-joulu-2018. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.realitytechnologies.com/vuzix-flagship-m300xl-ar-smart-glasses-available-for-enterprise-market/>. [Viitattu: 02-syys-2019].
- [126] "Vuzix-M300XL-Smart-Glasses-d01.pdf". [Verkossa]. Saatavissa: <https://vuzix-website.s3.amazonaws.com/files/Content/docs/north-american/web/Vuzix-M300XL-Smart-Glasses-d01.pdf>. [Viitattu: 18-elo-2019].
- [127] "Vuzix M400 Augmented Reality (AR) Smart Glasses". [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.vuzix.eu/Products/M400-Early-Adopters-Program>. [Viitattu: 01-syys-2019].
- [128] "Vuzix unveils M400 enterprise smart glasses with Qualcomm Snapdragon XR1", *VentureBeat*, 25-helmi-2019. [Verkossa]. Saatavissa: <https://venturebeat.com/2019/02/25/vuzix-unveils-m400-enterprise-smart-glasses-with-qualcomm-snapdragon-xr1/>. [Viitattu: 01-syys-2019].
- [129] "Vuzix-M400-Smart-Glasses-d01.pdf". [Verkossa]. Saatavissa: <https://vuzix-website.s3.amazonaws.com/files/Content/docs/north-american/web/Vuzix-M400-Smart-Glasses-d01.pdf>. [Viitattu: 18-elo-2019].
- [130] okreylos, "HoloLens and Field of View in Augmented Reality", *Doc-Ok.org*, 18-elo-2015. [Verkossa]. Saatavissa: <http://doc-ok.org/?p=1274>. [Viitattu: 23-syys-2019].